

CINTIA DANIEL

DÉFICIT HÍDRICO EM ESTÁGIOS FENOLÓGICOS NO CULTIVO  
DE CÁRTAMO

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO – 2023

CINTIA DANIEL

DÉFICIT HÍDRICO EM ESTÁGIOS FENOLOGICOS NO CULTIVO  
DE CÁRTAMO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO – 2023

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Daniel, Cintia

DÉFICIT HÍDRICO EM ESTÁGIOS FENOLÓGICOS NO CULTIVO DE CÁRTAMO / Cintia Daniel; orientador Reginaldo Ferreira Santos. -- Cascavel, 2023.

66 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, 2023.

1. carthamus tinctorius L.. 2. evapotranspiração. 3. demanda hídrica. 4. irrigação. I. Ferreira Santos, Reginaldo , orient. II. Título.

**CINTIA DANIEL**

**Déficit hídrico em estágios fenológicos no cultivo de cártamo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e culturas energéticas, APROVADA pela seguinte banca examinadora:



Orientador - Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Ana Paula Morais Mourão Simonetti

Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 28 de fevereiro de 2023

*“Dedico aos meus pais e meus irmãos, que acreditam e encorajam minha busca pelo sucesso pessoal.”*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus, por ter me proporcionado tantos momentos bons durante o meu aprendizado de vida.

Aos meus pais Clari Daniel e Rosani Vesohoski Daniel, por todo apoio, amor, dedicação e ensinamentos propostos durante todo o meu percurso.

Ao meu orientador Dr. Reginaldo Ferreira Santos, pela orientação durante toda a minha formação como mestre.

Aos meus irmãos Everton Daniel e Evelin Daniel, que sempre estiveram apoiando-me e motivando-me na minha caminhada e pelos momentos de distração que passamos juntos.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, por proporcionarem meu crescimento profissional.

À Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDETEC), pela confiança e espaço cedido dentro de suas áreas, para condução do experimento.

Ao Laboratório de Tecnologias Sustentáveis (LABTES), por ceder espaço para o desenvolvimento no geral de minha dissertação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo incentivo à pesquisa no Brasil e pela concessão da bolsa.

As pessoas que contribuíram direta e/ou indiretamente para que o trabalho pudesse ser realizado com sucesso, em especial à Juliana Souza, à Vitória Hubner e ao Félix Pazuch.

A todos, os meus sinceros agradecimentos!

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Caracterização dos tratamentos relativos às disponibilidades de irrigação.....	24
<b>Tabela 2</b> – Requerimento de água nas fases da cultura do algodão .....	25
<b>Tabela 3</b> – Atributos químicos do solo da área experimental.....	29
<b>Tabela 4</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes morfológicos do cártamo conduzido em casa de vegetação.....	32
<b>Tabela 5</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes da biomassa do cártamo conduzido em casa de vegetação... ..	33
<b>Tabela 6</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes de produtividade do cártamo conduzido em casa de vegetação.....	34
<b>Tabela 7</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes morfológicos do cártamo conduzido em campo.....	36
<b>Tabela 8</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes da biomassa do cártamo conduzido em campo.....	37
<b>Tabela 9</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes de produtividade do cártamo conduzido em campo.....	38

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Estágios fenológicos das plantas de cártamo.....	14
<b>Figura 2</b> – Distribuição dos tratamentos em função dos estágios de desenvolvimento da cultura do cártamo.....	26
<b>Figura 3</b> – Distribuição dos tratamentos em função dos estágios de desenvolvimento da cultura do cártamo.....	27
<b>Figura 4</b> – Comparação dos tratamentos entre os experimentos para os componentes morfológicos das plantas de cártamo.....	39
<b>Figura 5</b> – Comparação dos tratamentos entre os experimentos para os componentes da biomassa das plantas de cártamo.....	40
<b>Figura 6</b> – Comparação dos tratamentos entre os experimentos para os componentes de produtividade das plantas de cártamo.....	40



DANIEL, C. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel. Fevereiro de 2023. **Déficit hídrico em estágios fenológicos no cultivo de cártamo**. Dr. Reginaldo Ferreira Santos.

## RESUMO

O cártamo é uma cultura oleaginosa pertencente à família das Asteraceae, que recentemente tem recebido atenção de trabalhos científicos que reconhecem a qualidade do óleo extraído e a resistência da cultura em regiões secas e frias. Porém é conhecido que, mesmo se tratando de uma cultura que se desenvolve em ambientes secos, tem aumento na produtividade quando cultivada em áreas irrigadas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os índices de estresses hídricos na cultura cártamo, utilizando-se da reposição de água no solo com o uso do evaporímetro, e determinar os estágios de maiores demandas hídricas. O estudo foi dividido em duas etapas: um experimento conduzido em casa de vegetação e outro desenvolvido no campo. Ambos os estudos foram conduzidos no município de Cascavel-PR, empregando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo composto por oito tratamentos. Os tratamentos consistiram na disposição de irrigação em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura. As variáveis analisadas foram: altura das plantas, diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea, número de capítulos, número de sementes e peso das sementes. No estudo conduzido em casa de vegetação, o parâmetro altura de plantas apresentou a menor média, quando não recebeu nenhuma irrigação. De acordo com a ANOVA, para o parâmetro diâmetro do caule, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si. As massas fresca e seca mostraram-se mais sensíveis ao déficit hídrico, quando irrigado apenas nos estágios reprodutivo e formação de grãos. O menor número de capítulos foi evidenciado no tratamento que não recebeu nenhuma irrigação. Já os parâmetros número de sementes e peso de sementes apresentaram resultados negativos nos tratamentos irrigados apenas nos estágios vegetativo e formação de grãos, reprodutivo e formação de grãos, todos os estágios e aquele que não recebeu nenhuma irrigação. No experimento realizado no campo, os parâmetros altura de plantas e diâmetro do caule mostraram-se mais sensíveis nos tratamentos que não receberam nenhuma irrigação.

O número de capítulos não demonstrou diferenças significativas entre seus tratamentos. Para os parâmetros massa fresca e massa seca, número de sementes e peso de sementes, o tratamento que teve irrigação disponibilizada em todos os estágios demonstrou queda significativa em suas médias. Em conclusão, verificou-se que a escassez hídrica, devido à restrição de irrigação durante a fase vegetativa, reduz os componentes morfológicos do cártamo. A disponibilidade de água, apenas nos estágios reprodutivo e formação de grãos, resulta em um decréscimo nos componentes da biomassa, e a produtividade do cártamo é favorecida quando irrigada nos estágios vegetativo e reprodutivo da cultura.

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

**PALAVRAS-CHAVE:** *carthamus tinctorius* L.; evapotranspiração; demanda hídrica.

DANIEL, C. State university of west paraná, campus cascavel. february 2023. **Water deficit in phenological stages in safflower cultivation.** Dr. Reginaldo Ferreira Santos.

## ABSTRACT

Safflower is an oilseed crop belonging to the Asteraceae family, which has recently received attention from scientific works that recognize the quality of the oil extracted and the resistance of the crop in dry and cold regions. However, it is known that, even in the case of a crop that grows in dry environments, it has an increase in productivity when cultivated in irrigated areas. Thus, the objective of this work was to evaluate the water stress indices in the safflower crop, using the replacement of water in the soil with the use of the evaporimeter, and to determine the stages of greater water demand. The study was divided into two stages: an experiment conducted in a greenhouse and another carried out in the field. Both studies were conducted in the city of Cascavel-PR, using a completely randomized experimental design (DIC), consisting of eight treatments. Treatments consisted of irrigation at different stages of crop development. The analyzed variables were: plant height, stem diameter, fresh and dry mass of shoots, number of chapters, number of seeds and weight of seeds. In the study conducted in a greenhouse, the plant height parameter had the lowest average when it did not receive any irrigation. According to ANOVA, for the stem diameter parameter, the treatments did not show significant differences between them. Fresh and dry mass were more sensitive to water deficit when irrigated only in the reproductive and grain formation stages. The smallest number of capitula was evidenced in the treatment that did not receive any irrigation. The parameters number of seeds and seed weight presented negative results in the irrigated treatments only in the vegetative and grain formation, reproductive and grain formation stages, all stages and the one that did not receive any irrigation. In the experiment carried out in the field, the parameters plant height and stem diameter were more sensitive in the treatments that did not receive any irrigation. The number of chapters did not show significant differences between their treatments. For the

parameters fresh and dry mass, number of seeds and weight of seeds, the treatment that had irrigation available in all stages showed a significant drop in their averages. In conclusion, it was found that water scarcity, due to irrigation restriction during the vegetative phase, reduces the morphological components of safflower. The availability of water, only in the reproductive and grain formation stages, results in a decrease in the biomass components, and safflower productivity is favored when irrigated in the vegetative and reproductive stages of the crop.

"The present work was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel – Brazil (CAPES) - Financing Code 001"

**KEYWORDS:** *carthamus tinctorius* L.; evapotranspiration; water demand.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
2.1 A cultura do cártamo ( <i>Carthamus tinctorius</i> L.) .....	3
2.1.1 Importância econômica e social da cultura .....	3
2.1.2 Necessidade hídrica da cultura .....	4
2.2 Água no rendimento das culturas .....	5
2.3 Manejo da irrigação .....	6
2.3.1 Arduino em projetos de irrigação.....	11
2.4 Evapotranspiração (ET).....	8
2.4.1 Evapotranspiração de referência (ET <sub>0</sub> ).....	9
2.4.2 Evapotranspiração da cultura (ET <sub>c</sub> ) .....	10
2.4.3 Coeficiente de cultivo (K <sub>c</sub> ).....	11
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1 Descrição e localização.....	13
3.2 Delineamento e caracterização dos tratamentos .....	13
3.3 Cálculo da evapotranspiração de referência (ET <sub>0</sub> ) .....	14
3.4 Experimento conduzido em casa de vegetação .....	15
3.5 Experimento conduzido em campo .....	16
3.5.1 Caracterização do solo, adubação, material experimental e semeadura .....	18
3.5.2 Irrigação .....	19
3.6 Variáveis analisadas .....	19
3.6.1 Altura de plantas. ....	19
3.6.2 Diâmetro do caule .....	19
3.6.3 Massa fresca e seca da parte aérea .....	20
3.6.4 Número de capítulos .....	20
3.6.5 Número e peso das sementes.....	20
3.7 Análise estatística dos dados .....	20

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>21</b>
4.1 Experimento em casa de vegetação .....	21
4.2 Experimento em campo.....	25
4.3 Comparação de dados entre os experimentos.....	28
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>34</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma oleaginosa pertencente à família das asteraceae (ANICÉSIO *et al.*, 2018). Suas plantas apresentam caules ramificados e eretos de porte herbáceo variando entre 0,4 e 2,0 m de altura, com sistema radicular pivotante, podendo atingir até 3,0 m de profundidade (NETO *et al.*, 2020). A cultura vem sendo cultivada para fins da produção de óleo, principalmente, para o uso na produção de biodiesel, no trato animal, aplicabilidade em indústrias de cosméticos, fabricação de corantes industriais e culinários e usos farmacêuticos (CHAKRADHARI *et al.*, 2020; KIM *et al.* 2020; STEBERL *et al.* 2020).

FAOSTAT (2017) indica que o ciclo médio mundial da cultura para produção de sementes varia de acordo com a semeadura sazonal: 200 dias no outono, 230 dias no inverno, 190 dias no inverno e 120 dias no verão. O ciclo médio de cultivo do cártamo no Brasil gira em torno de 150 dias, podendo ser cultivado o ano todo, principalmente, na entressafra das principais culturas (AMBORASANO, 2012; GALANT e SANTOS 2015).

Seu cultivo vem se expandindo devido a algumas características importantes, como a tolerância às altas temperaturas, a solos salinos, à baixa umidade, ao déficit hídrico e aos ventos fortes e quentes (BAGHERI e SAM-DAILIRI, 2011; SÁ *et al.*, 2020). Tem potencial em plantios alternativos nas entressafras brasileiras (ZAFARI *et al.*, 2020; BIDGOLY *et al.*, 2018). No momento do estabelecimento da cultura, o produtor deve abarcar a necessidade hídrica da mesma, para estimar o volume necessário de água durante seu ciclo de desenvolvimento. Para tal propósito, definir os períodos em que a cultura se encontra suscetível à falta de água é essencial para reduzir perdas na produtividade (CARVALHO *et al.*, 2013).

O estresse hídrico no solo, durante a floração até o enchimento de grãos, prejudica os componentes de rendimento e o rendimento na cultura do cártamo (TABIB-LOGHMANI *et al.*, 2019). A irrigação complementar, durante esses períodos críticos de secas severas e umidade insuficiente no solo, elevará a produtividade do cártamo (SANTOS *et al.*, 2018; KOÇ, 2019; DOĞAN, 2021).

Métodos tradicionais de cultivos agrícolas estão sendo insuficientes para atender a demanda mundial de alimento. Por esta razão, o entendimento do

comportamento das plantas em relação à variação da água no solo em estádios fenológicos, pode ser o fator fundamental para o manejo da irrigação na gestão da agricultura 4.0 (KUNDALIA *et al.*, 2020; GANDHI *et al.*, 2020; AHIR *et al.*, 2020). Zhang *et al.* (2019) realizou um estudo de caso na cidade de Pequim, na China, o qual revelou que 53,1% dos agricultores adotaram tecnologias de engenharia da irrigação, como o uso de sistemas de irrigação automáticos. Essa utilização de técnicas de irrigação visa otimizar o uso da água, consumindo somente a quantidade de água que a cultura realmente necessita (EMBRAPA, 2022).

A estimativa da demanda hídrica da cultura, com o uso de evaporímetros, por exemplo, o tanque classe A e evaporímetro de Piché foram projetados para facilitar a aquisição dos valores de evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), ou seja, multiplicando os valores da evapotranspiração de referência adquiridos de diferentes formas, através do coeficiente de cultivo da cultura a ser irrigada naquela fase de desenvolvimento (TAGLIAFERRE *et al.*, 2011).

Ante o exposto, o presente estudo foi planejado com o objetivo de avaliar os índices de estresses hídricos na cultura cártamo, utilizando-se da reposição de água no solo, com o uso do evaporímetro, e determinar os estágios de maiores demandas hídricas.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1A cultura do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.)

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma cultura oleaginosa anual, pertencente à família asteraceae (Figura 1), original do Crescente Fértil Asiático (YAO *et al.*, 2018; TALEBI *et al.*, 2018). Devido aos diversos tipos de uso, a cultura passou a possuir um alto valor econômico e a ser cultivada como produto comercial em vários países (BIDGOLY *et al.*, 2018).

**Figura 1** – Desenvolvimento fenológico das plantas de cártamo.



**Fonte:** Autor, 2021.

As sementes apresentam coloração branco-amarelada de característica eurispérmica, pois seu formato é irregular de base arredondada e ápice achatado. A germinação é do tipo epígea fanerocotiledônea, podendo a taxa de germinação variar de 3 a 8 dias a partir da data da sementeira, embora o período de germinação possa se estender por até três semanas, a depender das condições climáticas (OEIKE *et al.*, 1992; ABUD *et al.*, 2010).

O crescimento inicial da cultura é caracterizado por um estágio lento chamado estágio de roseta, que pode variar com o material genético e as condições climáticas. Temperaturas amenas, nesta fase, são responsáveis pelo alongamento do estágio, enquanto altas temperaturas podem suprimir essa etapa. No estágio de roseta, o caule central não desenvolve novos ramos, por duas a três semanas, apenas folhas grandes próximas ao solo. Como resultado, as lacunas nas fileiras de sementes, que as plantas de cártamo não preenchem, facilitam o surgimento de

plantas invasoras que podem competir por água, luz e nutrientes. Porém, nesse período, as plantas podem resistir ao frio e às geadas, além de desenvolverem um sistema radicular que proporciona maior resistência à seca (ABEL, 1975; OEIKE *et al.*, 1992; BERGLUND; RIVELAND; BERGMAN, 2010).

A floração começa na haste central e se espalha pelos ramos com duração de 14 a 21 dias, dependendo das condições do ambiente. As flores podem ser amarelas, alaranjadas, roxas ou brancas (MÜNDEL *et al.*, 2004; ABUD *et al.*, 2010; BELLÉ *et al.*, 2012). Quatro a cinco semanas após o início da floração, desenvolvem-se capítulos fechados e esféricos, cada um dos quais pode conter de 15 a 30 sementes.

As temperaturas ótimas para o crescimento do cártamo estão na faixa de 20-35 °C (CORONADO, 2010).

### **2.1.1 Importância econômica e social da cultura**

No Brasil, a cultura do cártamo é uma das oleaginosas mais econômicas (KHOUNANI *et al.*, 2019), que vem sendo cultivada, principalmente, nos períodos de outono e inverno, em regiões áridas e semiáridas (SARTO *et al.*, 2018; PALUDO *et al.*, 2018), quando, eventualmente, ocorrem chuvas irregulares (SANTOS, 2018). O cártamo apresenta fácil adaptabilidade em diferentes tipos de solo, dispensando o uso de muitos equipamentos em seu cultivo, auxiliando na sustentabilidade da produção agrícola e sendo facilmente adaptável em rotações de culturas, reduzindo, assim, áreas em pousio (AKGUN e SOYLEMEZ, 2022).

Suas plantas são extremamente importantes em termos de contribuição para a indústria de biodiesel, corantes, rações (AKGUN e SOYLEMEZ, 2022) e, principalmente, pelo fato de que são ricas em ácidos graxos insaturados, por exemplo, os ácidos oleico e linoleico (ROCHE *et al.*, 2019). O elevado teor de ácido oleico de suas sementes amplia a vida útil de prateleira desse óleo (KADIRVEL, *et al.*, 2020).

Silva *et al.* (2021) apontaram, em um estudo, que o óleo extraído das sementes possui grande potencial como biocombustível e que, quando o cártamo é

cultivado em condições semiáridas, ha um rendimento de 34,33 % de óleo, excedendo culturas que estão sendo investigadas para esse mesmo fim.

A torta de cártamo é utilizada para formular ração animal devido ao seu alto teor de proteína, em detrimento de um subproduto derivado do óleo de girassol que, muitas vezes, é importado do exterior pelo seu baixo custo (PELARACCI *et al.*, 2022).

Nos tempos antigos, era usado como corante auferido das flores e era amplamente utilizado em alimentos e tecidos. As evidências datam seu cultivo no Egito desde os anos 1600 a.C. (BRITANNICA, 2019). De acordo com Dubey e Singh (2019), o cártamo é rico em vitamina E, podendo ser utilizado também como planta medicinal.

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO (2019), Cazaquistão, Índia, Estados Unidos, México, Argentina, Austrália e Egito são os principais produtores de grãos de cártamo, principalmente, para culturas rotativas de extração de óleo, juntamente com arroz, trigo e milho.

O Cazaquistão produziu 214.149 toneladas de sementes de cártamo em 2018, enquanto que, em 2016, a produção foi de 167.243 toneladas. Essa produção superou em 3 vezes os números registrados pelos EUA, o segundo maior produtor (107.220 toneladas em 2018). A Califórnia é o maior produtor de sementes de cártamo nos Estados Unidos, respondendo por 50% da produção. Alguns fatores, como o fato de o cártamo ser uma oleaginosa resistente à seca, exigir baixos insumos de produção, possuir fácil adaptação a vários tipos de solo, eficácia na rotação de culturas, no controle de ervas daninhas e doenças, baixo risco de produção e facilidade de colheita e armazenamento vêm aumentando a demanda por sementes de cártamo em todo o mundo (FAO, 2019).

### **2.1.2 Necessidade hídrica da cultura**

As plantas de cártamo são excepcionalmente resistentes à seca e toleram perfeitamente a falta de água, como evidenciado pelo seu rendimento que é de, aproximadamente, 2,5 t/ha em áreas de umidade insuficiente. Isso difere o cártamo

do girassol e, especialmente, da colza, que, geralmente, requerem uma certa quantidade de água para frutificar (RAZUMNOVA *et al.*, 2018).

A precipitação necessária antes da floração é de cerca de 600 mm, o que é mais da metade dos 800-1000 mm totais necessários para todo o ciclo. A incidência de ventos secos é adequada para a baixa incidência de doenças, como a mancha de alternaria. No entanto, em regiões mais secas, o cártamo pode ser cultivado com umidade residual do solo, exigindo que dois terços da necessidade total de água para o pré-plantio estejam presentes no solo (OYEN E UMALI, 2007).

Estudos mostraram que o teor de óleo (teor de gordura) das sementes de cártamo varia sob a influência das condições ambientais e de elementos das técnicas de cultivo durante a estação de crescimento (SAYILIR *et al.*, 2019; KUMARI *et al.*, 2021; JOSHI *et al.*, 2021). Cientistas que estudaram diferentes cultivares de cártamo na região de Tiaret (oeste da Argélia) também confirmaram o efeito de condições semiáridas, caracterizadas por baixa precipitação e altas temperaturas, no teor de óleo (ZEMOUR *et al.*, 2021).

Estudos realizados em algumas dessas condições mostraram que a seca, relacionada ao calor, reduz o teor de óleo e altera sua composição durante o enchimento dos grãos de cártamo (ROCHE *et al.*, 2019; WHALEY e ESKANDARI, 2019).

## **2.2. Água no rendimento das culturas**

A adaptação às mudanças climáticas é um dos principais objetivos da agricultura hoje. O uso de variedades e espécies de culturas adequadas e a diversificação dos sistemas de cultivo são práticas de adaptação fundamentais para enfrentar os desafios climáticos (ACEVEDO *et al.*, 2020; HUFNAGEL *et al.*, 2020).

A água é uma necessidade para a civilização humana, sendo utilizada em indústrias, necessidades domésticas, gestão da paisagem e, principalmente, para atividades agrícolas, uma das maiores consumidoras de água doce (MAHMOUD *et al.*, 2020). As mudanças climáticas estão afetando o ciclo hidrológico e regulando a quantidade de precipitação em sua distribuição ao redor do mundo. O aumento das temperaturas globais está aumentando as taxas de evaporação e o estresse hídrico

em plantas cultivadas (MANSOOR *et al.*, 2022), o que ocasiona uma redução nos padrões de absorção de nutrientes e no rendimento das culturas (MEENA *et al.*, 2019).

Essas mudanças também podem elevar a demanda por irrigação agrícola, aspersores de jardim e até piscinas. A demanda crescente pode ser atendida sacrificando recursos de água doce ou reutilizando água de baixa qualidade (DOTANIYA *et al.*, 2018). Gerenciar recursos hídricos sustentáveis, em nível regional e internacional, torna-se indispensável para a agricultura atual (MAHMOUD *et al.*, 2020).

Mudanças dramáticas do calor extremo (SALIM *et al.*, 2021) tornam as regiões do mundo com escassez de água mais suscetíveis aos riscos ocasionados pela seca (HINA e SALEEM, 2019). Devido ao crescimento populacional e ao uso de setores agrícolas, a escassez de água tornou-se um importante fator ambiental que limita a estabilidade de altos rendimentos agrícolas em regiões áridas, semiáridas e subúmidas (YAN *et al.*, 2020; COMAS *et al.*, 2019). Portanto, a eficiência do uso da água das culturas deve ser melhorada ainda mais no futuro (ZOU *et al.*, 2020).

O impacto significativo do calor extremo na agricultura global está bem documentado na literatura (VOGEL *et al.*, 2019). Ondas de calor e secas simultâneas resultaram em perdas substanciais de culturas alimentares na Europa (BASTOS *et al.*, 2020). Sob o aquecimento global, as estações de cultivo prolongadas aumentam as taxas de evapotranspiração e reduzem a umidade do solo, o que, por sua vez, aumenta o risco de secas repentinas (YUAN *et al.*, 2019).

As mudanças climáticas afetarão todos os setores da economia, mas podem ser piores para a agricultura (ALAMGIR *et al.*, 2020). Vários estudos mostraram que as mudanças climáticas estão causando uma expansão significativa de terras secas (NOOR *et al.*, 2019; SALMAN *et al.*, 2020; HAMED *et al.*, 2021; HAMED *et al.*, 2022).

Elevações em extremos hidrológicos, particularmente, secas, já são evidentes e devem se intensificar no futuro (FOWLER *et al.*, 2020). Eventualmente, essas mudanças alterariam a necessidade de irrigação das culturas, período de crescimento, rendimento e subsistência para os agricultores e a segurança alimentar nacional (HOMSI *et al.*, 2020; ARIKAN *et al.*, 2021). As medidas de adaptação, baseadas nas condições climáticas projetadas, são essenciais para sustentar o

rendimento das culturas e reduzir o risco de mudança climática na agricultura (MAGHREBI *et al.*, 2020).

### 2.3 Manejo da irrigação

Na agricultura, a água é um recurso natural valioso, porém limitado (KAMIENSKI *et al.*, 2019; SAHOO *et al.*, 2019). O rendimento das culturas é afetado por muitas condições ambientais, incluindo a temperatura do ar, temperatura do solo e umidade do mesmo (BAVOUGIAN e READ, 2018).

A irrigação disponibilizada para as plantas é um componente importante para a produção agrícola (BAVOUGIAN e READ, 2018). Os agricultores dependem, principalmente, da supervisão humana e da experiência para colher seus campos (GLAROUDIS *et al.*, 2020). O abastecimento de água aos campos deve ser conservado (LIU *et al.*, 2020). Como os rendimentos das culturas podem ser significativamente aumentados com irrigação, os países em desenvolvimento aumentam a produção de alimentos, principalmente, pela utilização da água e expansão das áreas irrigadas (NAZARI *et al.*, 2018).

A irrigação de precisão sustentável é um passo importante para a segurança alimentar, juntamente com a implementação de medidas de economia da água para compensar chuvas incertas e os efeitos da escassez de água provocada pela seca na região (GU *et al.*, 2020). O planejamento preciso da irrigação foca o uso eficiente da água para cada cultura, onde e quando necessário, na quantidade certa, para compensar a perda de água por transpiração, erosão ou infiltração (KUMAR *et al.*, 2020; BIGAH *et al.*, 2019).

Com o manejo adequado da irrigação, através do monitoramento eficiente e controle otimizado, pode-se economizar água, bem como outros custos indiretos resultantes do uso de energia na forma de eletricidade ou de combustíveis fósseis (TOGNERI *et al.*, 2020; CÁCERES *et al.*, 2021).

A elaboração de um sistema de irrigação de precisão sustentável necessita da integração de tecnologias modernas, como inteligência computacional, agro-hidroinformática e tecnologia da informação, por meio da detecção e gestão de dados efetivos de solo, vegetação e clima (CELICOURT *et al.*, 2021; MADURANGA

*et al.*, 2020). Essas tecnologias irão auxiliar na transformação de dados brutos, coletados em decisões e ações de irrigação, em campo ou na estufa. Além disso, irão potencializar o uso de água para irrigação e eletricidade para bombeamento, reduzindo custos de mão de obra (GOAP *et al.*, 2018; KOECH e LANGAT, 2018).

Segundo Jha *et al.* (2018), aprender a manusear sistemas automatizados significa fornecer dados de experimentos anteriores e dados estatísticos para que a máquina possa executar a tarefa atribuída de resolver um determinado problema. Adicionalmente, o avanço de diferentes modelos, para a estimativa de dados climáticos e ambientais, contribuiu para que os agricultores pudessem monitorar e visualizar facilmente vários parâmetros em seus dispositivos de computação inteligente, tablets e smartphones, auxiliando-os em suas decisões de forma manual ou inteligente (JAAFAR e KHARROUBI, 2021). Pesquisas mostraram que 90% dos agricultores concordam que uma melhor gestão da irrigação com o uso de aplicativos web e móveis pode colaborar na melhora dos rendimentos e da lucratividade em suas fazendas (JAAFAR e KHARROUBI, 2021).

Em regra, o uso de água de irrigação consiste no total de água retirada de um reservatório para um sistema de irrigação durante toda a temporada de safra, também conhecido como demanda total de água de irrigação (DANIEL *et al.*, 2019). Uma particularidade importante da economia de água é escolher o cronograma de irrigação correto. Ao regar durante períodos de calor e altas temperaturas, cerca de 30% da água utilizada é evaporada. Uma solução para evitar o desperdício é regar no início da manhã ou no final da tarde, quando as condições climáticas são favoráveis para esse processo (ROSENZWEIG *et al.*, 2018).

### **2.3.1 Arduino em projetos de irrigação**

O arduino é uma plataforma utilizada, principalmente, no desenvolvimento de protótipos eletrônicos (sistema embarcado), podendo ser empregado na automatização da irrigação. É um sistema de baixo custo, que vem se mostrando cada vez mais acessível, construído para tarefas específicas (RODRIGUES, 2022).

Como já dito anteriormente, o arduino é uma plataforma de computação física de código aberto para criar objetos interativos autônomos ou conectados à

internet. O software arduino é conhecido como Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE). É uma pequena placa microcontroladora que contém um computador inteiro em um pequeno chip (microcontrolador) (BANZI e SHILOH, 2022; RAJALAKSHMI, 2019).

Arduinos são usados para conectar sensores e atuadores, em que o sensor detecta algo no mundo físico e o converte em um sinal que o computador pode entender, enquanto o atuador traduz sinais de computadores em ações no mundo físico. O incremento de microcontroladores, sensores de umidade e seus programas de controle pode aumentar a eficiência dos sistemas de controle de irrigação (SUCHORAB *et al.*, 2020; SURYA *et al.*, 2020), podendo reduzir o uso de água em quase 50% em comparação com a irrigação convencional (WANG *et al.*, 2018; LIOU *et al.*, 2014).

## 2.4 Evapotranspiração (ET)

A expressão “evapotranspiração” compreende dois fluxos diferentes: a transpiração das plantas através da fotossíntese (processos biológicos) e a evaporação da água de superfícies de águas abertas (processo abiótico). Mudanças climáticas podem afetar a evapotranspiração em razão do aumento da radiação solar, temperatura do ar e da quantidade máxima de vapor de água no ar (LEMAITRE-BASSET *et al.*, 2022).

Evapotranspiração (ET) é a maior causa de perda de água em áreas de cultivo semiárido (LIOU *et al.*, 2014). A ET e a precipitação representam o clima de uma região e são empregadas como suporte em decisão de gestão da água agrícola. A ET, ao mesmo tempo que contribui com o equilíbrio da energia de superfície, estima as necessidades hídricas para uma logística eficaz da água (ELIADES *et al.*, 2022). Em áreas de vegetação, a taxa de ET é a mesma que a taxa de absorção de água da vegetação, de modo que a ET pode ser usada como medida de estresse hídrico da planta (HAO *et al.*, 2021).

A estimativa precisa da ET é importante para compreender e quantificar processos que controlam a ET, esclarecer incertezas no comportamento do ciclo hidrológico e das mudanças climáticas (KRISHNA, 2018). Como a ET é um fator-



chave no balanço hídrico em escala global, estimativas bem fundamentadas para regular componentes do sistema de irrigação são indispensáveis: capacidade das bombas, tamanho dos canais e barragens etc., devido à baixa gestão da água (ENTEZARI *et al.*, 2019).

A ET é uma das principais fontes de consumo da água agrícola. Historicamente, a transpiração, em termos das necessidades reais de água nas plantas, tem sido avaliada por observações de campo da cultura e do solo irrigado (ALTOBELLI *et al.*, 2014). A conservação da água, em esquemas eletrônicos de irrigação, é uma preocupação crescente em escala global e local (KRISHNA, 2018). Incentivar os agricultores a praticarem tecnologias de conservação da água e estabelecer órgãos reguladores que restrinjam a alocação de água na agricultura podem levar a uma gestão sustentável dos recursos hídricos utilizados na agricultura (WANG *et al.*, 2018).

Existem dois procedimentos para calcular e avaliar a evaporação – diretos e indiretos (BURT *et al.*, 2005). A evaporação por evaporímetros é um método direto bem conhecido. É utilizado extensivamente na estimativa da taxa de evaporação. Os evaporímetros não devem ser posicionados em qualquer lugar, principalmente, em regiões inacessíveis onde a instrumentação precisa não é possível (KISI, 2009). A ET pode ser estimada mediante parâmetros meteorológicos e hidrológicos, como a velocidade do vento, duração da insolação, umidade, temperatura e precipitação (WANG *et al.*, 2020; YASEEN *et al.*, 2020).

Medições precisas de alguns desses fatores meteorológicos requerem mão de obra qualificada e ferramentas avançadas. Falha de instrumento, manutenção inadequada e condições climáticas ruins, muitas vezes, dificultam a medição desses dados, que são críticos para prever a evaporação por meio de equações empíricas (NOURANI *et al.*, 2020).

#### **2.4.1 Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)**

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é uma medida de perda de água da superfície e da planta. Ela ajusta a quantidade de água de irrigação com base nas condições climáticas, sendo a questão mais importante na gestão e planejamento de

recursos hídricos (KESHTEGAR *et al.*, 2022). O uso da água de irrigação, de acordo com a taxa ETo, pode auxiliar na conservação da água enquanto mantém o rendimento das culturas (KESHTEGAR *et al.*, 2019).

Estudos mostraram que mudanças climáticas afetam a ETo e que seus valores diferem de lugar para lugar (RAI *et al.*, 2019; AJJUR e AL-GHAMDI, 2021; GHAZI *et al.*, 2021; BARZKAR *et al.*, 2021; KUSHWAHA *et al.*, 2022). As mudanças em ETo, bem como na ET e a ETc, não são afetadas apenas pelo aumento ou queda da temperatura, mas por outros fatores climáticos, como a radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento etc. (HARGREAVES e SAMANI, 1982).

A evapotranspiração é um elemento importante do ciclo hidrológico e a base para o planejamento da água de irrigação (TIKHAMARINE *et al.*, 2020), sendo responsável por mais de um terço das perdas globais de precipitação (TIKHAMARINE *et al.*, 2020).

A ETo pode ser obtida utilizando alguns modelos empíricos ou semiempíricos baseados em dados meteorológicos, como umidade do ar, temperatura, velocidade do vento e radiação solar (FAN *et al.*, 2019). Esses modelos têm sido amplamente aceitos pela comunidade agrícola, mas exigem grandes quantidades de dados meteorológicos. A aplicação desses modelos é complexa e não é adequada para a aplicação da programação da água de irrigação no nível do agricultor (TIKHAMARINE *et al.*, 2020). Além disso, a previsão precisa de ETo é igualmente importante. Portanto, a solução proposta visa determinar a taxa de ETo com base na cultura dominante no campo, detectando diretamente as condições ambientais do local de cultivo (KESHTEGAR *et al.*, 2019).

#### **2.4.2 Evapotranspiração da cultura (ETc)**

A evapotranspiração das culturas (ETc) é uma concepção muito importante na agricultura. A ETc refere-se à quantidade de água requerida pelas culturas, em diferentes estágios de desenvolvimento, com um manejo adequado da irrigação (PARAJULI *et al.*, 2019). Barbieri *et al.* (2020) constataram que a evaporação aumenta com temperaturas mais altas no verão, aumentando também a ETc e a demanda por água de irrigação. Os valores de ETc variam de acordo com o clima,

área de cultivo, período de cultivo e tipo de solo (SHARMA e TARE, 2021). A evaporação da água pode aumentar, durante a estação seca, sob condições de altas temperaturas, altas velocidades de vento e baixa umidade relativa (EWAID, ABED e AL-ANSARI, 2019).

Estimar ou determinar com precisão a  $ET_c$  e a quantidade de água a ser irrigada, durante o cultivo da cultura, ajuda a desenvolver um cronograma de irrigação adequado e também evita perdas de rendimento devido à irrigação. O principal propósito da irrigação é assegurar a continuidade da  $ET_c$  e propiciar umidade suficiente na zona radicular das plantas sob condições de baixa pluviosidade (BARBIERI *et al.*, 2020).

O uso eficiente e eficaz dos recursos hídricos requer um sistema bem planejado, desenvolvido e operado, não podendo ser considerado independente do padrão de vegetação da área (BARBIERI *et al.*, 2020).

### **2.4.3 Coeficiente de cultivo ( $K_c$ )**

O  $K_c$  geralmente é determinado integrando ações de vários parâmetros, como fisiologia da planta, taxa de crescimento e condições climáticas (IRMAK, 2008). Isso leva a uma curva ou protocolo de  $K_c$ , que propõe valores em função dos dias, desde o início da safra (pois, nas safras, significa o número de dias desde o plantio/semeadura) (HANSON e MAY, 2006).

Contudo, esses valores de  $K_c$  podem diferir de valores tabulados em virtude de práticas agronômicas e diferentes densidades de plantio (PEREIRA *et al.*, 2020). O  $K_c$  é mais complexo – é um parâmetro dinâmico e específico do clima no planejamento da irrigação, que indica as necessidades relativas de água das culturas para diferentes estágios de desenvolvimento (SILVA *et al.*, 2017). Os valores padrões de  $K_c$  podem ser encontrados na literatura e, geralmente, são atribuídos a cada estágio de desenvolvimento da planta (PEREIRA *et al.*, 2021). O uso de dados *in situ* de microclima e de fatores de cultura ajuda a determinar o uso de água da cultura e a divulgar essas informações aos produtores em um formato útil e confiável (ALLEN *et al.*, 1998).

O valor de  $K_c$ , para a maioria das culturas agrícolas, aumenta desde o valor mínimo no plantio até que o valor máximo de  $K_c$  seja atingido com dossel completamente desenvolvido. O  $K_c$  tende a diminuir em um ponto após a cobertura total ser alcançada durante o crescimento da planta. O grau de declínio depende das características específicas de crescimento da cultura e do manejo da irrigação ao final do cultivo (VENANCIO *et al.*, 2019).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição e localização

O estudo foi dividido em duas etapas: um experimento conduzido em casa de vegetação na área experimental do campus da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, com início em 12 de abril de 2021, e outro desenvolvido no campo, na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNDETEC, iniciando no dia 9 de março de 2022. Ambos os experimentos foram realizados no município de Cascavel-PR. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, revisada por Kottek *et al.* (2006), o clima de Cascavel é subtropical úmido com temperatura média anual em torno de 19 °C. A média anual de pluviosidade é de 1841 mm.

#### 3.2 Caracterização dos tratamentos

Os tratamentos consistiram na disposição da irrigação em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura, descritas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Caracterização dos tratamentos relativos às disponibilidades de irrigação.

Tratamentos	Descrição da disponibilidade de irrigação
T1	Vegetativo
T2	Reprodutivo
T3	Formação de Grãos
T4	Vegetativo e Reprodutivo
T5	Vegetativo e Formação de grãos
T6	Reprodutivo e Formação de grãos
T7	Nenhum dos estágios
T8	Todos os estágios

\*\*Todos os tratamentos receberam adubação mineral de base contendo NPK.

As irrigações foram disponibilizadas em cada estágio fenológico da cultura (Figura 2) de acordo com a classificação de Flemmer, Franchini e Lindström (2015), Rivas e Matarazzo (2009).



**Figura 2.** Estágios Fenológicos do *Carthamus tinctorius* L. adaptado de Flemmer, Franchini e Lindström (2015), Rivas e Matarazzo (2009) até a floração. D1: D1.1: Emergência; D2: D2.1: Vegetativo; D3: Diferenciação da inflorescência central; D4: Ramificação das inflorescências laterais; D5: Reprodutivo; D6: Ponto de colheita das hastes; D7: Plena floração; D8: Formação de grãos; D9: Hastes florais secas.

### 3.3 Cálculo da necessidade hídrica da cultura

A irrigação foi diária, com base na necessidade hídrica da cultura, em função de cada tratamento abordado na pesquisa. O cálculo da necessidade hídrica da cultura (Equação 1) foi obtido através da multiplicação entre a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>FAO) de referência obtido da FAO (ALLEN, 1998). A evapotranspiração cultural (ET<sub>c</sub>) (mm d<sup>-1</sup>) é continua – multiplicando-se a evapotranspiração de referência ET<sub>o</sub> (mm d<sup>-1</sup>) pelo coeficiente cultural (K<sub>c</sub>) (adimensional), como vulgarizado por Doorenbos e Pruitt (1977):

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (1)$$

Em que:

ET<sub>o</sub> é a quantidade evaporada diariamente do tanque evaporímetro (mm dia<sup>-1</sup>), e o K<sub>c</sub> é, basicamente, a razão entre a ET<sub>c</sub> e ET<sub>o</sub>, representando a integração dos efeitos de quatro características primárias, que distinguem as culturas da grama utilizada como referência: altura da cultura, albedo da superfície, cultura-solo, resistência do dossel da folha e evaporação do solo. Tendo em vista que ainda não se tem essa informação para o cártamo, foi utilizado o K<sub>c</sub> do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), pertencente à família malvaceae, o qual apresenta necessidades hídricas semelhantes, como demonstrado na Tabela 2.

**Tabela 2** – Requerimento de água nas fases da cultura do algodão.

Requerimento de água	Dias após a semeadura
Kc 0,45	20
Kc 0,75	40
Kc 1,15	80
Kc 0,85	100

**Fonte:** BARRETO, BEZERRA E SILVA (2003).

### 3.4 Experimento conduzido em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na área experimental, no campus da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, localizado no município de Cascavel-PR, tendo latitude 24° 53' 47" S e longitude 53° 32' 09" W. Situa-se no terceiro planalto do estado, na região oeste paranaense, com uma altitude média de 785 metros e uma área de 2.091 km<sup>2</sup>. O estudo iniciou-se no dia 12 de abril de 2021, sendo conduzido em casa de vegetação do tipo túnel alto de polietileno de baixa densidade, sem controle da temperatura.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por oito tratamentos e quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de tubos PVC com capacidade de 50 litros, com medidas de 0,1 m de diâmetro e 0,60 m de altura. Cada parcela experimental foi constituída por quatro tubos contendo duas plantas cada. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente por sorteio (Figura 3).

A semeadura e os tratos culturais foram realizados manualmente. A profundidade de semeadura foi de aproximadamente três centímetros, colocando-se 4 sementes por tubo; posteriormente, foi realizado o desbaste, deixando apenas duas plantas por tubo. A cultivar utilizada foi a IPR – 211, doada pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), sendo adaptada para cultivo em todo o Estado do Paraná nos meses de abril e maio, com duração em seu ciclo de 160 dias e potencial produtivo de 1,0 a 1,9 t/ha.

As irrigações foram realizadas manualmente utilizando-se de um becker de plástico graduado em ml/litro de acordo com a necessidade hídrica da cultura, obtida através do cálculo de evaporação descrito no tópico 3.3.

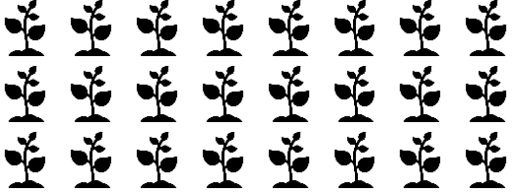
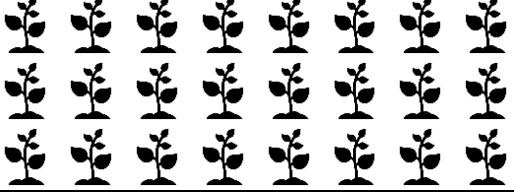
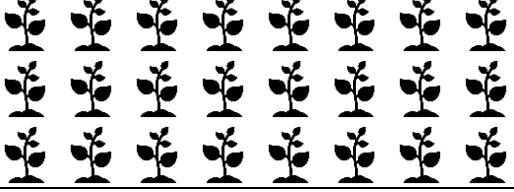
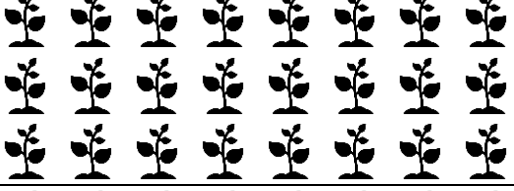
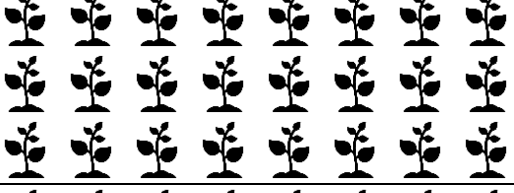
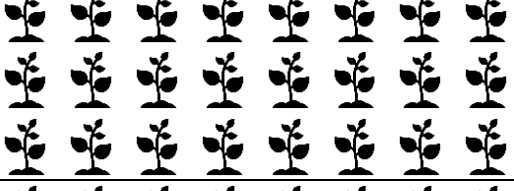
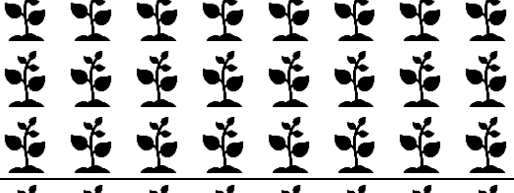





**Figura 3** – Distribuição dos tratamentos em função dos estágios de desenvolvimento da cultura do cartamo.

### 3.5 Experimento em Campo

O estudo conduzido no campo foi desenvolvido na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNDETEC, localizada na Rodovia BR 277 Km 573 - s/n, no município de Cascavel-PR, latitude sul 25° 00' 36", longitude oeste 53° 17' 52" e altitude de 832 metros. A condução do ensaio iniciou-se no dia 9 de março de 2022. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com oito tratamentos e seis repetições, totalizando 48 unidades experimentais (Figura 4).

	T7 - Nenhum dos estágios
	T4 - Vegetativo e reprodutivo
	T6 - Reprodutivo e formação de grãos
	T3 - Formação de grãos
	T1 – Vegetativo
	T2 – Reprodutivo
	T5 - Vegetativo e formação de grãos
	T8 - Todos os estágios

**Figura 4.** Distribuição dos tratamentos em função dos estágios de desenvolvimento da cultura do cârtamo. T1: Vegetativo; T2: Reprodutivo; T3: Formação de grãos; T4: Vegetativo e Reprodutivo; T5: Vegetativo e formação de grãos; T6: Reprodutivo e formação de grãos; T7: Nenhum dos estágios; T8: Todos os estágios.

Cada parcela experimental foi constituída por três fileiras de plantas, com três metros de comprimento, sendo 28 plantas por fileiras, as quais foram espaçadas por 0,50 m de largura entre si, e 10,0 centímetros o espaçamento das plantas dentro da fileira de plantio, constituindo, assim, uma densidade de plantio de 220.000 plantas por hectare. As duas fileiras laterais de cada parcela compuseram a bordadura, sendo apenas a fileira central avaliada. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente por sorteio, como mostra a ilustração acima (Figura 4).

### **3.5.1 Caracterização do solo, adubação, material experimental, semeadura e precipitação**

Para a implantação do experimento, foi realizada uma capina na área utilizada e, na sequência, a demarcação dos tratamentos; em seguida, com a ajuda de um trator e com a utilização de uma plantadeira, foram marcadas as linhas de plantio: 0,50 m entre linhas, das quais foram posteriormente abertos os sulcos para a deposição das doses de fertilizantes, que foram cobertos com uma fina camada de solo, evitando, assim, o contato com as sementes.

A condução do estudo iniciou-se com a semeadura do cártamo no dia 03 de março de 2022. A cultivar estudada foi a variedade CIPL – 04407. Suas sementes foram cedidas pela Embrapa Soja, localizada em Londrina-PR, apresentando vigor de aproximadamente 80%.

Alguns dias após o surgimento das plântulas de cártamo, foi realizada a retirada de plantas invasoras e, posteriormente, realizou-se o raleio para definir o número de plantas na linha, onde cada linha comportou 28 plantas.

O solo local foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférico típico. A análise das características químicas do solo na área de cultivo foi possível através de amostras coletadas um dia antes da semeadura (08/03/2022), em toda a área experimental, a uma profundidade de 0-20 cm, conforme descrito na Tabela 3.

A adubação foi realizada em cobertura aplicando-se as seguintes quantidades de N, P e K: 10, 15 e 15. Devido à falta de recomendação específica

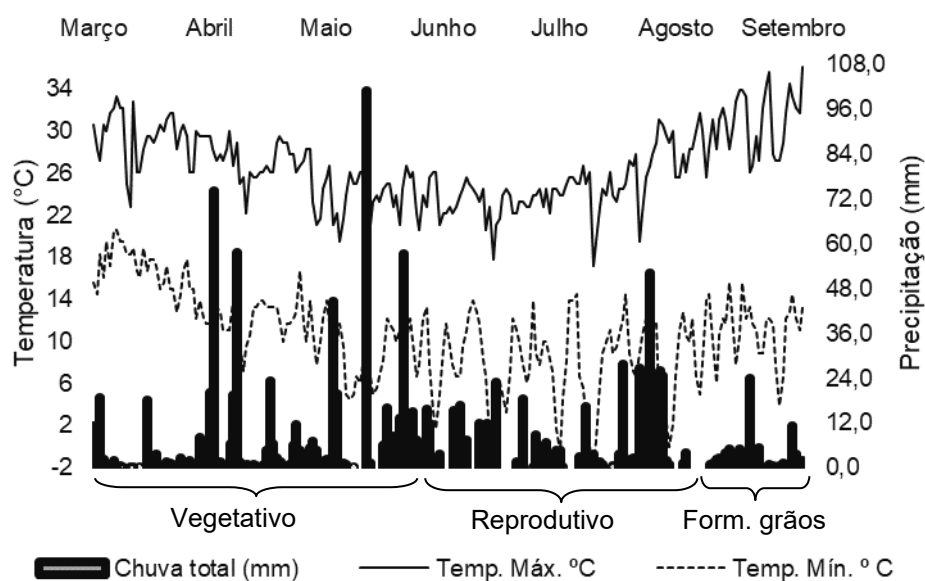
para a cultura no Brasil, seguiu-se a recomendação para a cultura do milho: 400 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 3** – Atributos químicos do solo da área experimental.

Elementos	cmolc dm <sup>-3</sup>
Cálcio (Ca)	4,57
Magnésio (Mg)	2,8
Potássio (K)	0,84
Alumínio (Al)	0
H + Alumínio (H + Al)	5,22
Soma de bases (SB)	8,21
CTC (T)	13,43
<hr/>	
Saturação por Bases (V%)	61,13 mg dm <sup>-3</sup>
<hr/>	
mg dm <sup>-3</sup>	
Fósforo (P)	19,42
pH CaCl <sub>2</sub>	5,48

Fonte: SOLANALISE, 2022.

Os parâmetros climáticos diários foram medidos em uma estação meteorológica localizada próxima à área experimental (estação Zucchetto), obtidos através dos dados climáticos diários sedidos pela WeatherLink (Figura 5).



**Figura 5.** Precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C) em diferentes estágios fenológicos do cártamo em 2022. V: Vegetativo; F: Florescimento; FG: Formação de grãos.

### 3.5.2 Irrigação

As irrigações foram realizadas através do sistema por gotejamento, sendo um gotejador por planta. Em cada canteiro estudado, a tubulação desse sistema de irrigação por gotejamento ficou paralela à linha que recebeu a irrigação. A etapa se deu através de amostragem de pontos em todas as 10 linhas de gotejadores. Para tanto, utilizou-se de beckers nos gotejadores do final de cada linha, que contabilizaram as vazões (ml) nesses pontos pelo tempo definido de 3 minutos, realizando, posteriormente, a conversão para litros por hora (l/h).

O modelo selecionado para o projeto de irrigação foi o Arduino UNO R3, que é uma placa de microcontrolador baseada no chip ATmega 380. Possui quatorze pinos de entrada ou saída digitais e seis entradas analógicas. O Uno R3 usa uma memória flash de 32 KB com 0,5 KB, usada para carregamento de inicialização, 2 KB de SRAM e 1 KB de EEPROM (memória pronta para uso programável apagável eletricamente).

No modo automático, a cada 24h, o sensor ultrassônico realizava a leitura da altura da lâmina do evaporímetro. Havendo diferença entre um dia e o outro, a válvula solenoide era aberta e, por gravidade, a água era conduzida até aos tubos gotejadores, que irrigavam as parcelas selecionadas. As irrigações eram realizadas sempre ao por do sol, pois, em outros horários do dia, as temperaturas mais altas fazem com que a água evapore rapidamente, antes mesmo que chegue com abundância na raiz e o organismo possa suprir toda sua demanda hídrica, sendo irrigada apenas a quantidade que havia evaporado do evaporímetro.

### **3.6 Variáveis Analisadas**

#### **3.6.1 Altura das plantas**

A altura das plantas foi determinada quando a cultura apresentou 50% de seu florescimento, medindo-se com fita métrica graduada a distância entre o nível do solo até ao ápice da planta (cm), isto é, de seis plantas, ao acaso, dentro de cada parcela.

#### **3.6.2 Diâmetro do caule**

Os dados referentes ao diâmetro do caule também foram obtidos a 50% do florescimento da cultura, coletando-se seis plantas ao acaso em cada parcela, com auxílio de um paquímetro digital, medindo-se a região basal do caule, sendo a medida fornecida em mm; com uma fita métrica graduada, verificou-se o comprimento do caule (cm).

#### **3.6.3 Massa fresca e seca da haste**

Para uma melhor determinação, esta avaliação foi realizada quando a cultura apresentava 50% de seu florescimento, coletando-se ao acaso seis plantas dentro da parcela e contando as ramificações a partir da haste principal da planta (ramificação primária). Em seguida, foram levadas à estufa com aeração contínua a 65 °C, por 72 horas, para verificação de massa fresca e seca.

#### **3.6.4 Número de capítulos**

Foram coletadas seis plantas por parcela, quando a cultura apresentou 50% de seu florescimento, contando o número total de capítulos em cada planta.

#### **3.6.5 Número e peso dos grãos**

A produtividade foi medida após a debulha manual e limpeza dos grãos. A massa foi determinada em balança de precisão com quatro casas decimais, com os valores expressos de kg/ha<sup>-1</sup>, corrigindo-se o grau de umidade para 12%.

#### **3.7 Análise estatística dos dados**

Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância, sendo as médias do fator irrigação comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2003).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Experimento em casa de vegetação

Os parâmetros altura das plantas e diâmetro do caule foram utilizados para compor os componentes morfológicos neste estudo. A ANOVA realizada para esses componentes mostrou que o cártamo foi significativamente afetado pelas disponibilidades de água em diferentes estágios fenológicos da cultura. O tratamento que recebeu irrigação em todos os estágios (T8) e o que recebeu irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo (T4) apresentaram médias superiores aos demais: 104,25 e 88,75 centímetros (Tabela 4). Joshan *et al.* (2019) indicam que o estresse hídrico, nos estágios de floração e enchimento de grãos, tem pouco efeito em parâmetros de crescimento, divergindo dos dados obtidos neste estudo no estágio reprodutivo.

No entanto, o tratamento que teve disponibilidade de água apenas em seu estágio vegetativo apresentou a menor média (58,50 cm), na altura de suas plantas. Bassegio *et al.* (2018) também evidenciaram quedas mais acentuadas nessa variável com manejo hídrico, em que o cártamo não recebeu irrigação no estágio vegetativo (V), o que resultou em redução do crescimento aéreo.

Os dados de diâmetro do caule mostraram uma tendência diferente da obtida pela altura das plantas, não demonstrando diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4). Neto *et al.* (2020), avaliando acessos de cártamo adaptáveis às condições de déficit hídrico e seu potencial para programas de melhoramento, observaram diferenças significativas, em que as variedades NOVO343, IMA340, NOVO338 e IMA211 destacaram-se com maior diâmetro de caule (9,43; 9,53; 10,54 e 8,88 mm, respectivamente), diferindo dos resultados encontrados neste estudo, em que o diâmetro do caule não demonstrou diferenças significativas, o que pode estar relacionado a diversos fatores, como variedade, clima, solo, adubação etc.



**Tabela 4** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes morfológicos do cártamo conduzido em casa de vegetação.

Fonte de variação	Componentes morfológicos	
	Altura das plantas (cm)	Diâmetro do caule (cm)
Vegetativo	58,50 a	5,45 a
Reprodutivo	82,25 ab	4,60 a
Formação de grãos	80,00 ab	5,62 a
Vegetativo e reprodutivo	88,75 ab	5,82 a
Vegetativo e formação de grãos	78,25 ab	6,20 a
Reprodutivo e formação de grãos	74,25 ab	6,07 a
Nenhum dos estágios	63,25 ab	5,02 a
Todos os estágios	104,25 b	6,20 a
CV (%)	23,5	18,88
F	<0,05**	0,34 <sup>ns</sup>

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

O rendimento de biomassa fresca e seca da haste das plantas foi, significativamente, afetado pelo estresse hídrico nos diferentes estágios fenológicos (Tabela 5). A disponibilidade de irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo (T4) aumentou, significativamente, a biomassa fresca, demonstrando a maior média (9,20g), mas diminuiu no tratamento que não recebeu nenhuma irrigação (T8), apresentando a menor média (2,69g). O tratamento que teve a irrigação suspensa após seu estágio vegetativo (T1) apresentou média inferior aos demais tratamentos (3,17 g) depois daquele que não recebeu nenhuma irrigação, o que provavelmente se deve, em parte, ao subdesenvolvimento de gemas devido à falta da mesma no estágio vegetativo. Joshi *et al.* (2021), analisando diferentes cultivares e a resistência à seca em diferentes estágios fenológicos, também observaram que a biomassa não foi perdida até o início do estresse hídrico em floração, evidenciando que a disponibilidade da irrigação no estágio vegetativo é de extrema importância para o aumento da biomassa.

Os dados obtidos através do teste Tukey a 5% de significância para a biomassa seca das plantas de cártamo, mostraram resultados semelhantes aos demonstrados anteriormente para biomassa fresca, em que o tratamento que recebeu irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo (T4) demonstrou a maior média (6,95 g) em sua biomassa seca, enquanto o tratamento oito (nenhuma irrigação) apresentou média inferior aos demais tratamentos (1,94 g) de biomassa seca. Engroff *et al.* (2020), trabalhando com a cultura do arroz, obtiveram resultados divergentes do presente estudo, pois a variável massa seca nas diferentes lâminas de irrigação, durante os estágios vegetativo e reprodutivo da cultura, não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, não influenciando na produção da biomassa seca.

**Tabela 5** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes da biomassa do cártamo conduzido em casa de vegetação.

Fonte de variação	Componentes da biomassa	
	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
Vegetativo	3,17 a	3,17 ab
Reprodutivo	5,80 ab	2,55 a
Formação de grãos	5,82 ab	3,82 ab
Vegetativo e reprodutivo	9,20 b	6,95 b
Vegetativo e formação de grãos	3,88 ab	2,63 a
Reprodutivo e formação de grãos	6,60 ab	4,82 ab
Nenhum dos estágios	2,69 a	1,94 a
Todos os estágios	6,54 a	3,54 ab
CV (%)	45,88	50,02
F	<0,05**	<0,05**

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

Os parâmetros número de capítulos, número de sementes e peso das sementes foram adquiridos para determinar o potencial produtivo das plantas de

cártamo sob deficiência hídrica em diferentes estágios fenológicos. O número de capítulos apresentou diferenças significativas entre os tratamentos analisados, apontando que o tratamento no qual recebeu irrigação apenas em seu estágio reprodutivo demonstrou a maior média (5,00), quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 6), mostrando que a irrigação, apenas em um estágio e de maneira correta, pode aumentar o número de capítulos. Diferindo do presente estudo, Baseri *et al.* (2022), trabalhando com épocas de semeadura e regimes de irrigação aplicados em estágios fenológicos de crescimento do cártamo, evidenciaram melhores resultados para o número de capítulos nos tratamentos de irrigação suplementar: no I4 (irrigação em todos os estágios), seguido dos tratamentos de irrigação I3 (irrigação no vegetativo, florescimento e formação de grãos) e I2 (vegetativo e florescimento), o que pode estar relacionado à disponibilidade de irrigação em um período maior de tempo.

Conforme os dados coletados, pode-se verificar que a cultura do cártamo apresentou resultados negativos para quatro dos oito tratamentos, ou seja, não houve produção de sementes nos tratamentos que receberam água apenas nos estágios vegetativo (T1), vegetativo e formação de grãos (T5), reprodutivo e formação de grãos (T6) e para aquele que não recebeu nenhuma irrigação (T7). Já o tratamento que apresentou a maior média no número de sementes foi o tratamento quatro, o qual recebeu irrigação em seus estágios vegetativo e reprodutivo, apresentando uma média de 99 sementes para esse tratamento (Tabela 6).

Quando analisado o peso das sementes das plantas de cártamo, percebeu-se que os resultados foram os mesmos que o número de sementes, podendo ser evidenciado que a improdutividade das plantas resultou em pesos com médias zero, apresentando produtividade em apenas quatro tratamentos. Dentre eles, o tratamento, cuja maior média foi de 4,39 g, teve água disponível em seus estágios vegetativo e reprodutivo (T4), conforme apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6.** Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes de produtividade do cártamo conduzido em casa de vegetação.

Fonte de variação	Componentes de produtividade		
	Nº Capítulos	Nº Sementes	Peso das sementes (g)
Vegetativo	0,75 a	0,00 a	0,00 a
Reprodutivo	5,00 b	50,50 ab	2,77 ab
Formação de grãos	1,00 a	2,00 a	0,05 a
Vegetativo e reprodutivo	3,25 ab	99,00 b	4,39 b
Vegetativo e formação de grãos	1,00 a	0,00 a	0,00 a
Reprodutivo e formação de grãos	3,00 ab	0,00 a	0,00 a
Nenhum dos estágios	1,75 ab	0,00 a	0,00 a
Todos os estágios	3,50 ab	24,50 a	0,84 a
CV (%)	65,3	114,35	128,11
F	<0,05**	<0,05**	<0,05**

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

Em concordância com os resultados obtidos neste estudo, Santos *et al.* (2018), analisando a produtividade e a água irrigada, observaram que os tratamentos que receberam irrigação nos estágios vegetativo e vegetativo e formação de grãos foram os que menos responderam à aplicação de volume de água, pois, nesses estágios, ocorreram pequenos aumentos no rendimento de grãos.

#### 4.2 Experimento em campo

Características morfológicas, como altura da planta e diâmetro do caule, foram usadas para representar os componentes morfológicos das plantas. As irrigações disponibilizadas nos diferentes estágios fenológicos afetaram significativamente o crescimento das plantas, conforme mostrado na Tabela 7.

Quando analisados através da irrigação em cada estágio fenológico, a altura da planta e o diâmetro do caule apresentaram decréscimo significativo para o tratamento que não recebeu irrigação em nenhum de seus estágios, demonstrando a menor média em relação aos demais tratamentos. Isso se deve ao estresse causado pela deficiência hídrica, um sério fator limitante do crescimento e desenvolvimento dos vegetais, uma vez que resulta em efeitos adversos em muitos atributos das plantas, como morfologia, nutrição e produção (ANICÉSIO *et al.*, 2018).

A análise entre as diferentes disponibilidades de irrigação mostrou que os tratamentos T4 (vegetativo e reprodutivo) e T5 (vegetativo e formação de grãos) tinham diâmetro do caule e altura da planta significativamente maiores do que os demais tratamentos, evidenciando que a indisponibilidade de água nesses estágios pode acarretar em danos para a cultura. O estudo de Jhosi (2021), em contrapartida, indicou que o estresse hídrico, nos estágios críticos de floração e enchimento de grãos, tem pouco efeito sobre parâmetros de crescimento.

Santos *et al.* (2018), ao suspenderem a irrigação no estágio vegetativo, evidenciaram quedas mais acentuadas nessas variáveis nos tratamentos com manejo hídrico em que o cártamo não recebeu irrigação no estágio vegetativo (T1), o que resultou em redução do crescimento aéreo. A junção da irrigação no estágio vegetativo com os estágios reprodutivos ou formação de grãos pode ter favorecido os componentes morfológicos.

**Tabela 7** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes morfológicos do cártamo conduzido em campo.

Tratamentos	Componentes morfológicos	
	Altura das plantas (cm)	Diâmetro do caule (cm)
Vegetativo	1,25 ab	8,00 ab
Reprodutivo	1,26 ab	9,33 ab
Formação de grãos	1,35 bc	10,33 ab
Vegetativo e reprodutivo	1,62 e	10,66 b
Vegetativo e formação de grãos	1,53 de	10,66 b
Reprodutivo e formação de grãos	1,48 d	9,50 ab
Nenhum dos estágios	1,38 c	8,66 ab
Todos os estágios	1,23 a	7,00 a
CV (%)	4,4	19,61
F	< 0,05**	< 0,05**

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

As biomassas vegetal fresca e seca total foram determinadas para avaliar os efeitos de diferentes irrigações no crescimento da planta, e os resultados são apresentados na Tabela 8. A análise entre os tratamentos da biomassa vegetal fresca (BVF) e biomassa vegetal seca (BVS) aponta para diferenças significativas ( $F < 0,05$ ) entre os tratamentos. O tratamento que recebeu irrigação apenas no estágio vegetativo demonstrou uma maior suscetibilidade a falta de água, demonstrando medidas menores que os demais tratamentos. No estudo de Santos *et al.* (2018), os autores encontraram resultados semelhantes, os quais evidenciaram que a massa fresca e a massa seca do caule foram mais sensíveis ao déficit hídrico no período vegetativo.

**Tabela 8** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes da biomassa do cártamo conduzido em campo.

Tratamentos	Componentes da biomassa	
	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
Vegetativo	27,53 a	16,17 a
Reprodutivo	38,83 a	20,16 a
Formação de grãos	36,36 a	21,65 a
Vegetativo e reprodutivo	52,24 a	30,23 a
Vegetativo e formação de grãos	53,9 a	29,94 a
Reprodutivo e formação de grãos	48,36 a	27,16 a
Nenhum dos estágios	36,7 a	21,87 a
Todos os estágios	44,85 a	26,33 a
CV (%)	34,45	32,2
F	< 0,05**	<0,05**

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

Conforme mostrado na Tabela 9, levando em consideração os parâmetros de produtividade (número e peso de sementes), o cártamo apresentou melhores resultados para os tratamentos irrigados nos estágios vegetativo e reprodutivo/formação de grãos (T4 e T5). Assim como em nosso estudo, Parameshnai *et al.* (2022), evidenciaram que a disponibilidade de irrigação nos estádios de roseta + início da floração + desenvolvimento da semente apresentou produtividade de sementes significativamente maior em relação aos outros tratamentos.

Da mesma forma, quando analisado o peso das sementes, o rendimento do cártamo demonstrou os mesmos resultados encontrados no número de sementes, sendo que os tratamentos que apresentaram um maior número de suas sementes aumentaram também os pesos das sementes, atingindo valores máximos nos tratamentos T4 e T5 ( $p < 0,05$ ). Corroborando com nosso estudo, Santos *et al.* (2018) observaram diferença de 37% entre a massa de mil grãos de cártamo irrigado apenas no período vegetativo (2,81 g) e o manejo da água com irrigação na floração

e enchimento de grãos (3,85 g), destacando a importância da irrigação para o enchimento de grãos.

No entanto, para o parâmetro número de capítulos, não se observou diferenças significativas entre os tratamentos. Os danos causados pela deficiência hídrica dependem da frequência, duração e intensidade da exposição da planta ao fator estressante. Assim, para o estudo em questão, o tempo de exposição dependeu da duração de cada estágio (SANTANIELLO *et al.*, 2017; VAN OOSTEN *et al.*, 2017).

**Tabela 9** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes de produtividade do cártamo conduzido em campo.

Tratamentos	Componentes de produtividade		
	Nº Capítulos	Nº Sementes	Peso das sementes (g)
Vegetativo	6,00 a	64,16 a	3,33 a
Reprodutivo	7,83 a	82,66 ab	4,21 ab
Formação de grãos	9,66 a	91,33 ab	4,84 ab
Vegetativo e reprodutivo	14,83 a	271,33 c	13,83 c
Vegetativo e formação de grãos	13,33 a	273,00 c	13,92 c
Reprodutivo e formação de grãos	9,50 a	86,83 ab	4,42 ab
Nenhum dos estágios	7,50 a	70,50 a	3,66 a
Todos os estágios	11,50 a	232,66 bc	12,33bc
CV (%)	51,15	59,39	58,9
F	0,06 <sup>ns</sup>	< 0,05 <sup>**</sup>	< 0,05 <sup>**</sup>

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | <sup>\*\*</sup>Significativo a 5% de probabilidade | <sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

### 4.3 Comparação de dados entre os experimentos

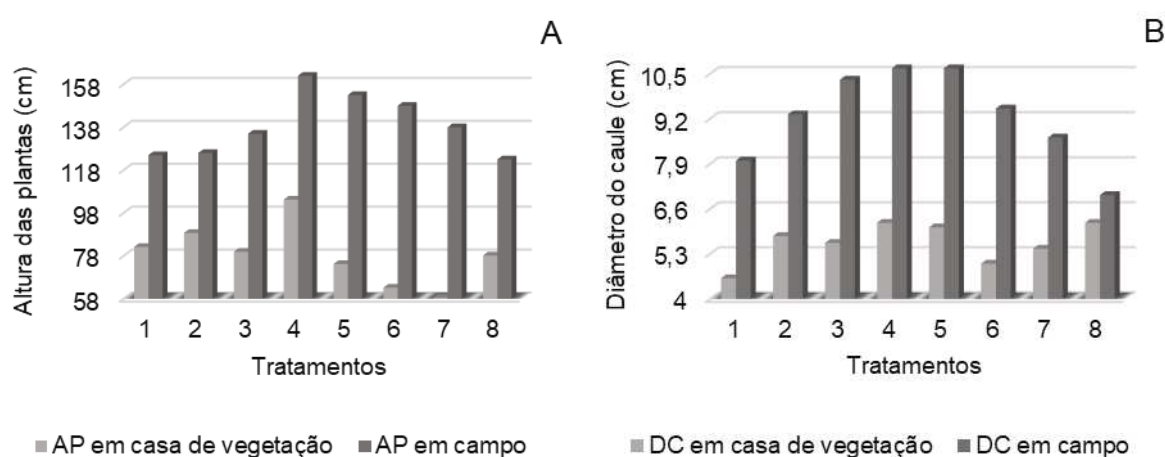
Os gráficos abaixo trazem uma comparação entre o experimento realizado em casa de vegetação e o realizado no campo para os parâmetros dos componentes morfológicos (Figura 6), em que podemos observar que, para altura de



plantas, o tratamento que recebeu irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo (T4) apresentou as maiores médias em ambos os experimentos.

Para o parâmetro diâmetro do caule, o tratamento cinco (vegetativo e reprodutivo) também apresentou a maior média no experimento em campo enquanto que em casa de vegetação o experimento que recebeu irrigação em todos os estágios demonstrou uma maior altura das plantas de cártamo, demonstrando que a irrigação disponível em todo seu ciclo auxilia no desenvolvimento das plantas de cártamo.

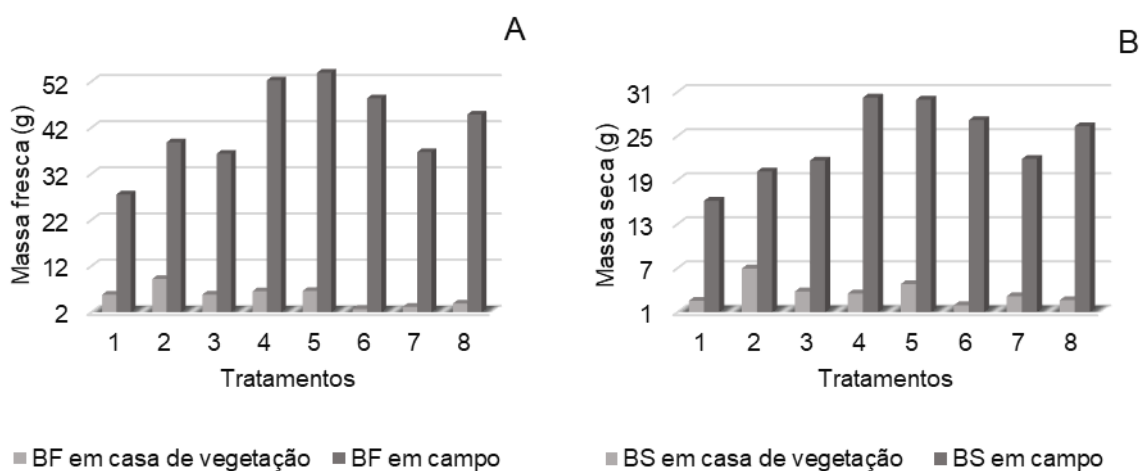
O déficit hídrico pode afetar diferentemente as plantas durante os crescimentos vegetativo e reprodutivo. Quando as células vegetais ficam submetidas ao déficit hídrico, ocorre desidratação celular. O déficit hídrico também induz à acumulação de ácido abscísico (ABA), que promove o fechamento estomático, reduzindo as trocas gasosas e inibindo a fotossíntese. Como consequência do desacoplamento dos fotossistemas induzido pela desidratação, os elétrons livres, produzidos pelos centros de reação, não são transferidos para NADP +, levando à geração de espécies reativas de oxigênio (EROs). As EROs em excesso danificam o DNA, inibem a síntese de proteínas, oxidam os pigmentos fotossintéticos e causam a peroxidação de lipídeos de membrana (TAIZ *et al.*, 2017).



**Figura 6.** Comparação das médias entre os blocos para o parâmetro altura de plantas (A) e médias obtidas para o parâmetro diâmetro do caule (B). T1: Vegetativo; T2: Reprodutivo; T3: Formação de grãos; T4: Vegetativo e Reprodutivo; T5: Vegetativo e Formação de grãos; T6: Reprodutivo e Formação de grãos; T7: Nenhum dos estágios; T8: Todos os estágios.

Na comparação das médias entre os tratamentos para biomassa seca e fresca (Figura 7), o estágio que se mostrou mais suscetível ao déficit hídrico em casa de vegetação foi o tratamento cuja irrigação foi disponibilizada apenas nos estágios reprodutivo e formação de grãos (T6), em que o mesmo obteve médias inferiores aos demais tratamentos, enquanto que em campo a menor média foi evidenciada no tratamento um e oito, sendo que os mesmos receberam irrigação nos estágios vegetativos e em todos os estágios.

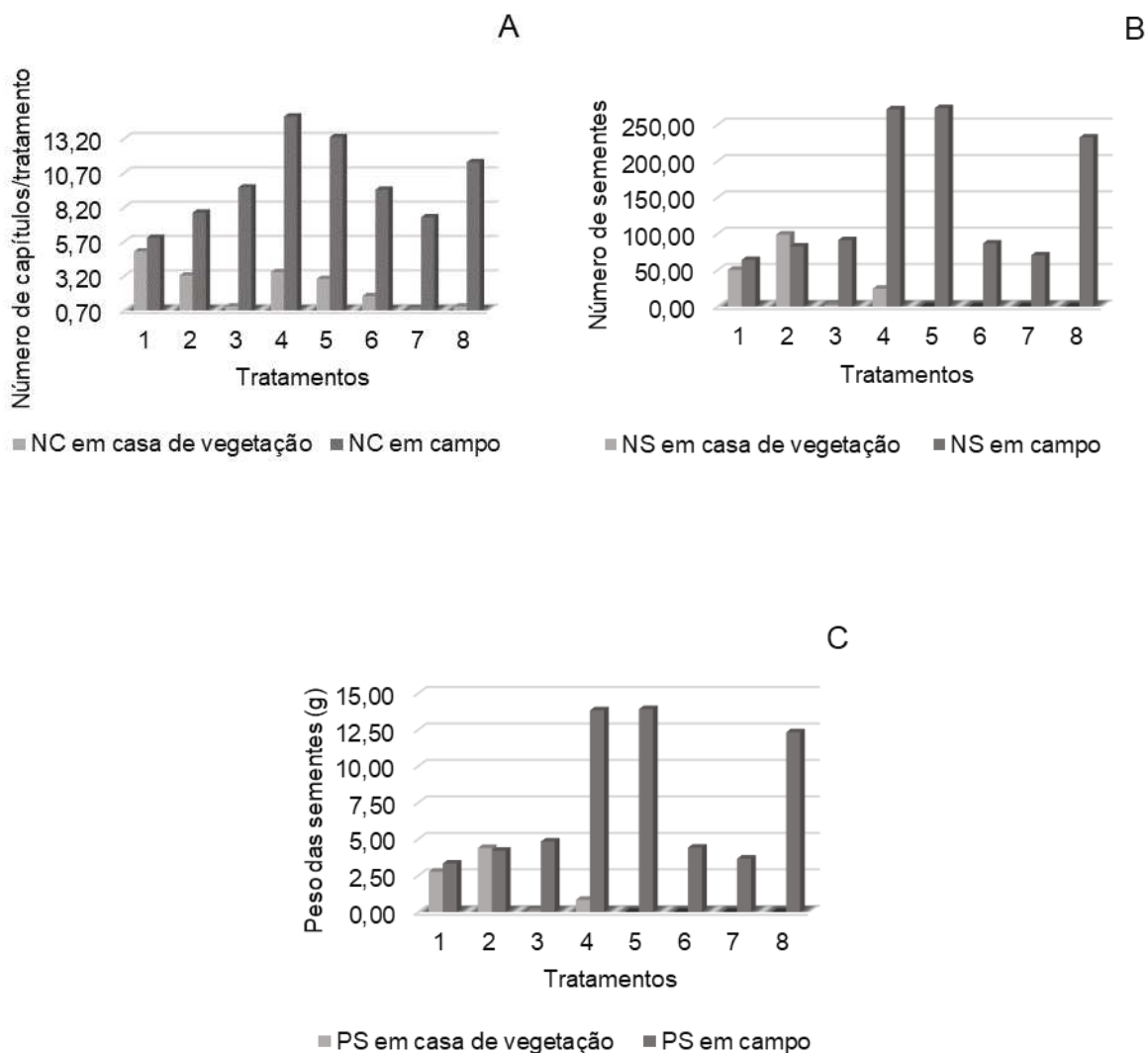
A cultura demonstrou-se suscetível ao déficit hídrico, apresentando redução na biomassa, principalmente, nos estágios vegetativo e reprodutivo. De acordo com Taiz *et al.* (2017), a resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico consiste no decréscimo da produção da área foliar, no fechamento dos estômatos, na aceleração da senescência e da abscisão das folhas, culminando na redução de produção.



**Figura 7.** Comparação das médias entre os blocos para o parâmetro massa fresca (A) e médias obtidas para o parâmetro massa seca (B). T1: Vegetativo; T2: Reprodutivo; T3: Formação de grãos; T4: Vegetativo e Reprodutivo; T5: Vegetativo e Formação de grãos; T6: Reprodutivo e Formação de grãos; T7: Nenhum dos estágios; T8: Todos os estágios.

Por último, para os parâmetros de produtividade (Figura 8), o tratamento que se mostrou mais suscetível à falta de água no estudo de campo foi o tratamento que teve disponibilidade da mesma apenas em seu estágio vegetativo, com médias inferiores aos demais tratamentos analisados.

Já no experimento em casa de vegetação, os tratamentos três (formação de grãos), seis (reprodutivo e formação de grãos) e sete (nenhum dos estágios) se mostraram altamente dependentes da disponibilidade de água, tornando improdutivos na falta da mesma.



**Figura 8.** Comparação das médias entre os blocos para os parâmetros número de capítulos (A), número de sementes (B) e peso das sementes (C). T1: Vegetativo; T2: Reprodutivo; T3: Formação de grãos; T4: Vegetativo e Reprodutivo; T5: Vegetativo e Formação de grãos; T6: Reprodutivo e Formação de grãos; T7: Nenhum dos estágios; T8: Todos os estágios.

Silva (2021), avaliando o estresse hídrico nos diferentes estágios fenológicos do feijão-fava, observou que a cultura foi mais sensível ao estresse hídrico na fase

reprodutiva, na qual há um aporte maior de água, corroborando com o presente estudo em estufa, pois os tratamentos que receberam irrigação no estágio reprodutivo apresentaram uma maior produtividade.

O déficit hídrico controlado (50% da ETo) aplicado, principalmente, nas fases de floração e enchimento de grãos na cultura da soja, ocasionou diminuições drásticas nos componentes produtivos (número de vagens por planta, número de grãos por planta e potencial produtivo total) (BARBOSA *et al.*, 2020). Gava *et al.* (2016) também chegaram a essa conclusão, afirmando que a produtividade é afetada pela ocorrência de déficit hídrico no 31º período fenológico que compreende entre a completa formação de vagens e a formação de grãos. Esses achados corroboram com nossos resultados obtidos em campo, afirmando uma maior demanda hídrica da cultura do cártamo nos estágios vegetativos e formação de grãos, para um aumento na produtividade.

## 5. CONCLUSÃO

A cultura do cártamo é beneficiada pela irrigação no período vegetativo em conjunto com a irrigação no estágio reprodutivo ou formação de grãos, mostrando-se suscetível ao déficit hídrico em seu período vegetativo. Esses resultados foram encontrados em todos os parâmetros avaliados em ambos os estudos.

Em relação aos componentes morfológicos das plantas de cártamo, foi possível concluir que a escassez hídrica, devido à restrição de irrigação durante as fases reprodutiva e formação de grãos, mostrou uma redução na altura das plantas e no diâmetro do caule das mesmas.

A disponibilidade de água, apenas no T1 (vegetativo) e no T2 (reprodutivo), resultou em um decréscimo nas médias dos componentes da biomassa fresca e seca da cultura.

Os componentes de produtividade do cártamo (número de capítulos, número de sementes e peso de sementes) foram favorecidos, quando suas plantas receberam irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo e vegetativo e formação de grãos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, G. H. (1975). Growth and yield of safflower in three temperature regimes. **Agronomy Journal**, 67 (5), 639-642.

ABUD, H.; GONÇALVES, N.; REIS, R.; GALLAO, M.; INNECCO, R. (2010). Morphology of seed and seedling of safflower. **Revista Ciencia Agronomica**, 41 (2): 259-265.

AKGUN, M.; SÖYLEMEZ, E. (2022). Determining the Future Trends of Safflower Plant in Türkiye. **International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**. 6, 50-57. 10.31015/jaefs.2022.1.8.

ACEVEDO, M.; PIXLEY, K.; ZINYENGERE, N.; MENG, S.; TUFAN, H.; CICHY, K.; BIZIKOVA, L.; ISAACS, K.; GHEZZI-KOPEL, K.; PORCIELLO, J. A. (2020). Scoping Review of Adoption of Climate-Resilient Crops by Small-Scale Producers in Low- and Middle-Income Countries. **Natural Plants**, 6, 1231–1241.

AHIR, K.; GOVANI, K.; GAJERA, R.; SHAH, M. (2020). Application on virtual reality for enhanced education learning, military training and sports. **Augmented Human Research**, 5, (7).

AJJUR, S. B.; AL-GHAMDI, S. G. (2021). Evapotranspiration and response of water availability to climate change in the Middle East and North Africa. **Climate Change**, 166, 28. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03122-z>

AKGUN, M., SOYLEMEZ, E. (2022). Determining the Future Trends of Safflower Plant in Türkiye. **International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**, 6 (1), 50-57.

ALAMGIR, M.; KHAN, N.; SHAHID, S. (2020). Evaluating severity–area–frequency (SAF) of seasonal droughts in Bangladesh under climate change scenarios. **Stoch Environ Res Risk Assess**, 1–18.

ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). **Papel de irrigação e drenagem da FAO**. (56): 26–40. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação.

ALTOBELLI, F.; MEYBECK, A.; GITZ, V. Accounting for water use in agriculture. In **Knowledge and Information for Sustainable Food Systems**; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2014.

AMBROSANO, L. **Avaliação de oleaginosas potencias para cultivo de safrinha**. (2012). 82f. Dissertação (Mestrado de Agronomia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012.

ANICÉSIO, E. C. A. D.; BONFIM - SILVA, E. D. N. A.; SILVA, T. J. A. D.; PACHECO, A. B. (2018). Nitrogênio e potássio em cártamo: índice de clorofila, características biométricas e uso da água. **Revista Caatinga**, 31 (2), 424 -433.

ARIKAN, B.B.; JIECHEN, L.; SABBAH, I.I.D. (2021). Dew Point Time Series Forecasting at the North Dakota. **Knowledge-Based Eng. Sci.**, 2:24–34

BAGHERI, H.; SAM-DALIRI, M. (2011). Effect of water stress on agronomic traits of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 5 (12), 2621 - 2624.

BANZI, M.; SHILOH, M. (2022). Getting Started With Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform. 4th. ed. **rev. Estados Unidos da America: Dale Dougherty**. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qChfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Projects+that+use+platform+Arduino+in+mechanized+irrigation+system+2022&ots=I-pPx17i4g&sig=xXiJMMBEUBovhRqEiyYvpD\\_j7Mw#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qChfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Projects+that+use+platform+Arduino+in+mechanized+irrigation+system+2022&ots=I-pPx17i4g&sig=xXiJMMBEUBovhRqEiyYvpD_j7Mw#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 7 jul. 2022.

BARBIERI, J. D.; FREITAS, P. S. L. D.; DALLACORT, R.; REZENDE, R.; SILVA, A. L. B. R.; FENNER, W.; CARVALHO, M. A. C. (2020). Influence of Soil Coverage on Evapotranspiration and Dual Crop Coefficients on Soybean. **Journal of Experimental Agriculture International**. doi:10.9734/jeai/2020/v42i630546.

BARBOSA, J. R.; FILHO, J. V. P.; OLIVEIRA, V. M. de; SOUSA, G. G. de; GOES, G. F.; LEITE, K. N. (2020). Produtividade da Cultura da Soja Irrigada com Déficit Hídrico Regulado no Cerrado Piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 14 (4): 4200 – 4210.

BARZKAR, A.; SHAHABI, S.; NIAZMRADI, S (2021). A comparative study of remote sensing and gene expression programming to estimate evapotranspiration in four different climates. **Stoch Environ Res Risk Assessment** 35, 1437–1452. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01956-0>

BARRETO, A. N.; BEZERRA, J. R C.; SILVA, A. A. G. (2003). Cálculo da necessidade hídrica do algodoeiro com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e no coeficiente da cultura (k<sub>c</sub>) para Barreiras – BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 4., Goiânia, GO. **Anais**. Goiânia: Embrapa Algodão. CD-ROM, 2003.

BASERI, G. S.; HONAR, T.; HEIDARI, B.; SALAMI, M.; RICHARDS, C. M. (2022). Oil and seed yields affected by sowing dates and irrigation regimes applied in growth phenological stages of safflower. **Crop Science**, 62(5), 1967-1980.

BASSEGIO, D.; SARTO, M. V. M.; ROSOLEM, C. A.; SARTO, J. R. W. (2018). Guar root and shoot growth as affected by soil compaction. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 48 (2): 163-169.

BASTOS, A.; CIAIS, P.; FRIEDLINGSTEIN, P.; SITCH, S.; PONGRITZ, J.; FÃ, L.; WIGNERON, J.; WEBER, U.; REICHSTEIN, M.; FU, Z. (2020). Efeitos legados diretos e sazonais da onda de calor e da seca de 2018 na produtividade do ecossistema Europeu. **Sci.Av.**, 6.

BAVOUGIAN, C. M.; READ, P. E. (2018). Mulch and groundcover effects on soil temperature and moisture, surface reflectance, grapevine water potential, and vineyard weed management. **Peer Journal**, 6, e5082.

BELLÉ, R.; ROCHA, E.; BACKES, F.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N. (2012). Safflower grown in different sowing dates and plant densities. **Ciência Rural**. 42 (12): 2145-2152. Doi:10.1590/S0103-84782012005000106.

BERGLUND, D. R.; RIVELAND, N.; BERGMAN, J. **Safflower production**. 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10365/9154>>. Acesso em: 2 jul. 2022.

BIDGOLY, R.O.; BALOUCHI, H.; SOLTANI, E.; MORDI, A. (2018). Effect of temperature and water potential on *Carthamus tinctorius* L. seed germination: Quantification of the cardinal temperatures and modeling using hydrothermal time. **Industrial Crops and Products**, 113, 121-127.

BIGAH, Y.; ROUSSEAU, A.N.; GUMIERE, S.J. (2019). Development of a steady-state model to predict daily water table depth and root zone soil matric potential of a cranberry field with a subirrigation system. **Agric. Water Manag**, 213, 1016–1027.

BRITANNICA, A. (2019). **Safflower**. Recuperado de: <https://academicebbritannica.ez87.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/safflower/64715>.

BURT, C. M.; MUTZIGER, A. J.; ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A. (2005). Evaporation research: Review and interpretation. **Journal of irrigation and drainage engineering**, 131 (1): 37.

CÁCERES, G.; MILLÁN, P.; PEREIRA, M.; LOZANO, D. (2021). Smart farm irrigation: Model predictive control for economic optimal irrigation in agriculture. **Agronomy**, 11, 1810.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. (2013). Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia biosfera: Centro Científico Conhecer, Goiânia**. 9 (17): 969. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br>. Acesso em: 21 jul. 2022.

CELICOURT, P.; ROUSSEAU, A.N.; GUMIERE, S.J.; CAMPORESE, M. (2013). Hydro-informatics for sustainable water management in agrosystems. **Front. Water**, 3, 119.

CHAKRADHARI, S.; PERKONS, I.; MIŠINA, I.; SIPENIECE, E.; RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; GRYGIER, A.; GÓRNAŚ, P. (2020). Profiling of the bioactive components of safflower seeds and seed oil: Cultivated (*Carthamus tinctorius* L.) vs.



wild (*Carthamus oxyacantha* M. Bieb.). **European Food Research and Technology**, v. 246, n. 3, p. 449-459.

COMAS, L.; TROUT, T.; DEJONGE, K.; ZHANG, H.; GLEASON, S.M. (2019). Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. **Agric Water Manage** 212: 433– 440.

CORONADO, L. M. **El cultivo del cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en México**. Ciudad Obregon: SGI, 2010.

DANIEL, A.; SEGOVIA-CARDOZO, L.; RODRÍGUEZ-SINOBAS, S. Z. (2019). Water use efficiency of corn among the irrigation districts across the Duero river basin (Spain): Estimation of local crop coefficients by satellite images, **Agricultural Water Management**, 212, 241-251.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. (1977). **Necessidades de água da cultura**. Papel de Irrigação e Drenagem da FAO No. 24.

DOTANIYA, M. L., DOTANIYA, C. K., SANWAL, R. C., MEENA, H. M. (2018). **CO<sub>2</sub> sequestration and transformation potential of agricultural system**. In Martínez L, Kharissova O, Kharisov B (Eds.) Handbook of Ecomaterials. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1\\_87-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_87-1).

DOĞAN, L. (2021). **Determination of yield components yield and oil ratio of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Sanliurfa ecological conditions**. Master Thesis, Harran University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Field Crops, Sanliurfa, Turkey.

DUBEY J, SINGH A. (2019). Green synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles using extracts of pomegranate peels for pharmaceutical application. Int **Journal Pharm Phytopharmacol**, 9 (1): 85–87.

ELIADES, M.; BRUGGEMAN, A.; DJUMA, H.; CHRISTOFI, C.; KUELLS, C. (2022). Quantifying Evapotranspiration and Drainage Losses in a Semi-Arid Nectarine (*Prunus persica* L.). Field with a Dynamic Crop Coefficient (Kc) Derived from Leaf Area Index Measurements. **Water**, 14, 734.

EMBRAPA. **Água na agricultura**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura/perguntas-e-respostas>. Acesso: em 03 jan.2022.

ENGROFF, R. D.; FILHO, V. M. F.; COSTA, D. R.; SCHIMIDT, F. D.; ALBERTO, C. M.; RAMÃO, C. J. (2020). Produção de massa seca no período reprodutivo da cultura do arroz em diferentes lâminas de irrigação por asperção. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 12 (2): 4 dez. 2020.

ENTEZARI, A.; WANG, R.; ZHAO, S.; MAHDINIA, E.; WANG, J.; TU, Y.; HUANG, D. (2019). Sustainable agriculture for water-stressed regions by air-water-energy management. **Energy**, 181, 1121–1128.

EWAID, S.H.; ABED S.A.; AL-ANSARI N. (2019). Crop water requirements and irrigation schedules for some major crops in Southern Iraq. **Water** 11:756 DOI 10.3390/w11040756.

**FAO, Food and Agriculture organization of Uniter Nation**, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Acesso em: 18 de março de 2023.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. **Crops: Safflower**. 2017. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em: 20 jan. 2022.

FAN, J.; MA, X.; WU, L.; ZHANG, F.; YU, X.; ZENG, W. (2019). Light Gradient Boosting Machine: An efficient soft computing model for estimating daily reference evapotranspiration with local and external meteorological data, **Agricultural Water Management**, 225, 105758, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105758>.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45., 2003, São Carlos. **Anais...** UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p. 255 – 258.

FLEMMER, A.C.; FRANCHINI, M.C.; LINDSTRÖM L.I. (2015). Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *An. of App. Biol.*, 166 (1): 331-339. doi: 10.1111/aab.12186

FOWLER, K.; KNOBEN, W.; PEEL, M.; PETERSON, T.; RYU, D.; SAFT, M.; SEO, K.; WESTERN, A. (2020). Many Commonly Used Rainfall-Runoff Models Lack Long, Slow Dynamics: Implications for Runoff Projections. *Water Resources Research*, 56 (5): 1-27.

GALANT, N. B; SANTOS, R. F; SILVA, M. A. MELHORAMENTO DE CÁRTAMO (*CARTHAMUS TINCTORIUS* L.). **Acta Iguazu**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 14–25, 2000. DOI: 10.48075/acta\_iguazu. v4i1.12418. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12418>. Acesso em: 25 mar. 2023.

GANDHI, M.; KAMDAR, J.; SHAH, M. (2020). Preprocessing of non-symmetrical images for Edge detection. **Augmented Human Research**, 5: (10).

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; ALMEIDA, B. M. de; FREITAS, P. S. L. de; REZENDE, R. (2016) Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, 10 (3): 305-315.

GHAZI, B.; JEIHOUNI, E.; KOUZEHGAR, K; Torabi, A.T. (2021). Assessment of probable groundwater changes under representative concentration pathway (RCP) scenarios through the wavelet–GEP model. **Environmental Earth Sciences**, 80.

- GLAROUDIS, D.; IOSSIFIDES, A.; CHATZIMISIOS, P. (2020). Survey, comparison and research challenges of IoT application protocols for smart farming. **Computer Networks**, 168, 107037.
- GOAP, A.; SHARMA, D.; SHUKLA, A.K.; RAMA KRISHNA, C. (2018). An IoT based smart irrigation management system using machine learning and open source technologies. **Comput. Electron. Agric**, 155, 41–49.
- GU, Z.; QI, Z.; BURGHATE, R.; YUAN, S.; JIAO, X.; XU, J. (2020). Irrigation scheduling approaches and applications: **A review. J. Irrig. Drain. Eng.**, 146, 04020007.
- HAMED, M.M.; NASHWAN, M.S.; SHAHID, S. (2021). A novel selection method of CMIP6 GCMs for robust climate projection. **International Journal of Climatology**. 42, 4258-4272. 10.1002/joc.7461.
- HAMED, M.M.; NASHWAN, M.S.; SHAHID, S. (2022). Comparison between CMIP5 and CMIP6 Models over MENA Region Using Historical Simulations and Future Projections. **Sustainability**, 14, 10375. <https://doi.org/10.3390/su141610375>
- HANSON, B.R.; MAY, D.M. (2006). Coeficientes de cultivo para procesamiento de tomate irrigado por gotejamento. **Gestão de Água Agrícola**, 81 (3): 381-399. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.007>
- HAO, P.; DI, L.; GUO, L. (2021). Estimation of crop evapotranspiration from MODIS data by combining random forest and trapezoidal models. **Agric. Water Manag.**, 259, 107249.
- HARGREAVES, G. H.; ALLEN R. G. (2003). History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. **J. Irrig. Drain. Engin.**, 129(1): 53-63.
- HINA, S.; SALEEM, F. (2019). Historical analysis (1981-2017) of the severity and magnitude of drought in a predominantly arid region of Pakistan. **Clim. Res.**, 78, 189-204.
- HOMSI, R.; SHIRU, M.S.; SHAHID, S. (2020) Precipitation projection using a CMIP5 GCM ensemble model: a regional investigation of Syria. **Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.**, 14:90–106.
- HOSSEINI, T.S.M.; HOSSEINI, S.A.; GHERMEZCHESHMEH, B.; SHARAFATI, A. (2020) Drought hazard depending on elevation and precipitation in Lorestan. **Iran Theor Appl Climatol**, 142:1369–1377.
- HUFNAGEL, J.; RECKLING, M.; EWERT, F. Diverse Approaches to Crop Diversification in Agricultural Research. A Review. **Agron. Sustain. Dev.** 2020, 40, 14.
- IRMAK, S. (2008). evapotranspiration. In SE Jørgensen & BD Fath (Eds.), *Encyclopedia of ecology* (pp. 1432–1438). University of Nebraska-Lincoln.

Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement, **Agricultural Water Management**, 208, 7-18, ISSN 0378-3774.

JAAFAR, H.; KHARROUBI, S.A. (2021). Views, practices and knowledge of farmers regarding smart irrigation apps: A national cross-sectional study in Lebanon. **Agric. Water Manag.**, 248, 106759.

JEIHOUNI, E.; ESLAMIAN, S.; MOHAMMADI, M.; ZAREIAN, M.J (2019). Simulation of groundwater level fluctuations in response to main climate parameters using a wavelet–ANN hybrid technique for the Shabestar plain, Iran. **Environ Earth Sci** 78(10):1–9.

JHA, K.; DOSHI, A.; PATEL, P. (2018). Intelligent irrigation system using artificial intelligence and machine learning: A comprehensive review. **Int. J. Adv. Res.**, 6, 1493–1502.

JOSHAN, Y.; SANI, B.; JABBARI, H.; MOZAFARI, H.; MOAVENI, P. (2019). Effect of drought stress on oil content and fatty acids composition of some safflower genotypes. **Plant, Soil and Environment.**, 65 (11): 563 - 7.

JOSHI, S.; THODAY-KENNEDY, E.; DAETWYLER, H.D.; HAYDEN, M.; SPANGENBERG, G.; KANT, S. (2021). High-throughput phenotyping to dissect genotypic differences in safflower for drought tolerance. **PLoS ONE** 16 (7): e0254908. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254908>.

KADIRVEL, P.; VEERRAJU, C.; SENTHILVEL, S.; YADAV, P.; USHA KIRAN, B.; SHAW, R.; SELVARAJ, V. M.; REDDY, Y.R.; MOHANRAO, M. D.; MUKTA, N. (2020). Markerassisted selection for fast-track breeding of high oleic lines in safflower (*Carthamus tinctorious* L.). **Industrial Crops and Products**, 158, 112 - 983. DOI:10.1016/j.indcrop.2020.112983.

KAMIENSKI, C.; SOININEN, J. P.; TAUMBERGER, M.; DANTAS, R.; TOSCANO, A.; SALMON-CINOTTI, T.; TORRE NETO, A. (2019). Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. **Sensors**, 19(2), 276.

KESHTEGAR, B.; ABDULLAH, S. S.; HUANG, Y. F.; SAGGI, M. K.; KHEDHER, K. M.; YASEEN, Z. M. (2022). Reference evapotranspiration prediction using high-order response surface method. **Theoretical and Applied Climatology**, 148(1): 849-867.

KESHTEGAR, B.; KISI, O.; ZOUNEMAT-KERMANI, M. (2019). Polynomial chaos expansion and response surface method for nonlinear modeling of reference evapotranspiration. **Hydrological Sciences Journal**, 64 (6): 720-730.

KHOUNANI, Z.; NAZEMI, F.; SHAFIEI, M.; AGHBASHLO, M.; TABATABAEI, M. (2019). Techno-economic aspects of a safflower-based biorefinery plant co-producing bioethanol and biodiesel. **Energy Conversion and Management**, 201: 112-184.

- KIM, J.; ASSEFA, A. D.; SONG, J.; MANI, V.; PARK, S.; LEE, S. K.; HAHN, B. S. (2020). Assessment of metabolic profiles in florets of *Carthamus* species using ultra-performance liquid chromatography-mass spectrometry. **Metabolites**, v. 10, n. 11, p. 440.
- KISI, O. (2009). Daily pan evaporation modelling using multi-layer perceptrons and radial basis neural networks. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(2): 213-223.
- KOECH, R.; LANGAT, P. (2018) Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. **Water**, 10, 1771.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, 15: (3), 259-263.
- KOÇ, H. (2019). Evaluation of safflower cultivars in terms of yield and oil ratio under different precipitation. **Turkish Journal of Agriculture and Natural Sciences**. 6 (3): 518- 526.
- KRISHNA, P.A. (2018). Evapotranspiration and agriculture. A review. **Agric. Rev.**, 40, 1–11.
- KUMAR, G. D.; VIDHEYA-RAJU, B.; NANDAN, D. (2020). A review on the smart irrigation system. **J. Comput. Theor. Nanosci.**, 17, 4239–4243.
- KUMARI V.V, ROY A, VIJAYAN R. (2021). Drought and heat stress in cool-season food legumes in sub tropical regions: Consequences, adaptation, and mitigation strategies. **Plants**, 10, 1038.
- KUNDALIA, K.; PATEL, Y.; SHAH, M. (2020). Multi-label Movie Genre Detection from a Movie Poster Using Knowledge Transfer Learning. **Augmented Human Research**, 5: (11).
- KUSHWAHA, N.; RAJPUT, J.; SHIRSATH, P. B.; SENA, D.; MANI, I. (2022). Seasonal climate forecasts (SCFs) based risk management strategies: A case study of rainfed rice cultivation in India. **Journal of Agrometeorology**, 24(1): 10–17. <https://doi.org/10.54386/jam.v24i1.775>
- LEMAITRE-BASSET, T.; OUDIN, L; THIREL, G. (2022). Evapotranspiration in hydrological models under rising CO<sub>2</sub>: a jump into the unknown. **Climatic Change** 172, 36. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03384-1>
- LIOU, Y. A.; KAR, S.K. (2014). Evapotranspiration Estimation with Remote Sensing and Various Surface Energy Balance Algorithms - A Review. **Energies**, 7, 2821–2849.

LIU, D.; JIA, Q.; LI, J.; ZHANG, P.; REN, X.; JIA, Z. (2020). Increased photosynthesis and grain yields in maize grown with less irrigation water combined with density adjustment in semiarid regions. **Peer J.**, 8, e 9959.

LÓPEZ, N.J.F.; CANO, J.; DE LA ROSA, R.; VELASCO, L.; LEÓN, L. (2020). Genotype by environment interaction for oil quality components in olive tree. **Eur. J. Agric.**, 119.

MADURANGA, M.W.; ABEYSEKERA, R. (2020) Machine learning applications in iot based agriculture and smart farming: A review. **Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.**, 4, 24–27.

MAGHREBI, M.; NOORI, R.; BHATTARAI, R. (2020). Iran's Agriculture in the Anthropocene. **Earth's Futur**, 8: e2020EF001547.

MAHMOUD, A. E. D., FRANKE, M., STELTER, M., & BRAEUTIGAM, P. (2020). Mechanochemical versus chemical routes for graphitic precursors and their performance in micropollutants removal in water. **Powder Technology**, 366, 629–640.

MALIK, A. K.; GHORBANI A. M.; A. G.; KASHANI, M. H.; KISI, O.; KIM, S. (2019). "The viability of co-active fuzzy inference system model for monthly reference evapotranspiration estimation: case study of Uttarakhand State." **Hydrology Research** 50, no. 6: 1623-1644.

MANSOOR, S.; FAROOQ, I.; KACHROO, M. M.; MAHMOUD, A. E. D.; FAWZY, M.; POPESCU, S. M.; ALYEMENI, M. N.; SONNE, C.; RINKLEBE, J.; AHMAD, P. (2022). Elevation in wildfre frequencies with respect to the climate change. **Journal of Environmental management**, 301, 113769.

MEENA, V. D.; DOTANIYA, M. L.; SAHA, J. K.; MEENA, B. P.; DAS, H.; BEENA, P. A. K. (2019). Sustainable C and N management under metal-contaminated soils. In R. Datta, R. Meena, S. Pathan, & M. Ceccherini (Eds.), **Carbon and nitrogen cycling in soil** (pp. 293–336). Springer.

MÜNDEL, H.H.; BLACKSHOW, R.E.; BYERS, J.R.; HUANG, H.C.; JOHNSON, D.L.; KEON, R. **Safflower production on the Canadian Prairies**. Lethbridge: Canada. 2004, 36p.

NAZARI, B.; LIAGHAT, A.; AKBARI, M. R.; KESHAVARZ, M. (2018). Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement, **Agricultural Water Management**, Volume 208, Pages 7-18, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.003>.

NETO, R.C.; RAMOS, S. M. B.; PEGO, M.F.F.; SANGLARD, D.A. (2020). Avaliação de acessos de cártamo adaptáveis às condições de déficit hídrico e seu potencial para programas de melhoramento. **Acta Iguazu**, 9 (1): 137-149.

RAI, P.K.; NISTOR, M. M.; MÎNDRESCU, M.; PETREA, D. (2019). Impact of climate change on crop evapotranspiration in Turkey during the 21st century. **Meteorol Appl**, 26:442–453. <https://doi.org/10.1002/met.1774>.

RIVAS, J.; MATARAZZO, R. **Producción de cártamo conderaciones generales**. Boletín de divulgación n.20. Buenos Aires: INTA, 2009.

NOOR, M.; ISMAIL, T.; SHAHID, S. (2019). Development of multi-model ensemble for projection of extreme rainfall events in Peninsular Malaysia. **Hydrol Res**, 50:1772–1788.R

NOURANI, V.; SAYYAH-FARD, M.; ALAMI, M. T.; SHARGHI, E. (2020). Data pre-processing effect on ANN-based prediction intervals construction of the evaporation process at different climate regions in Iran. **Journal of Hydrology**, 588, 125078.

OEIKE, E. A.; OPLINGER, E. S.; TEYNOR, T. M.; PUTNAM, D. H.; DOLL, J. D.; KELLING, K. A.; DURGAN, B. R.; NOETZEL, D. M. **Safflower**. Alternative Field Crops Manual, 8p, 1992.

OYEN, L. P. A.; UMALI, B. E. (2007). **Carthamus tinctorius L.** Record from Protabase. van der Vossen, H. A. M.; Mkamilo, G. S. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands.

PALUDO, J. T. S., BONFIM-SILVA, E. M., DA SILVA, T. J. A., DE FREITAS SOUSA, H. H., ZANOTTO, M. D., & FENNER, W. (2018). Agronomic performance of Safflower genotypes ('*Carthamus tinctorius*' L.) under different soil bulk density levels in the Oxisol of the Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, 12(3), 407.

PARAMESHNAIK, C.; SOMANAGOUDA, G.; SALAKINKoeOP, S.R. (2022). Effect of Irrigation Scheduling on Growth, Yield and Economics of Hybrid Safflower. **Biological Forum—An International Journal**, 14 (2a): 414-419.

PARAJULI, K.; JONES, S. B.; TARBOTON, D. G.; FLERCHINGER, G. N.; HIPPS, L. E.; ALLEN, L. N.; SEYFRIED, M. S. (2019). Estimating actual evapotranspiration from stony-soils in montane ecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, 265, 183-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.019>. Disponível em: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192318303733>). Acesso em: 13 jul. 2022.

PELARACCI, S.; ROCHA, L.; ROMAGNOLI, F.; BOGGIA, A.; PAOLOTTI, L. (2022). Agricultural Co-Product Management: An LCA Perspective on the Use of Safflower Oilcake from Bio-Oil Production in Umbria Region, Italy" **Environmental and Climate Technologies**, 26 (1): 25-35. 2022.

PEREIRA, L.; PAREDES, P.; HUNSAKER, DJ; LÓPEZ-URREA, R.; MOHAMMADI SHAD, Z. (2021). Coeficientes Padrão de Cultura Simples e Basal para Culturas de Campo. Atualizações e Avanços no Método FAO56 de Requisitos de Água para Cultivos. Agrícola. **Gestão de Água**, 243.

- PEREIRA, L.; PAREDES, P.; MELTON, F.; JOHNSON, L.; WANG, T.; LÓPEZ-URREA, R.; CANCELA, JJ; ALLEN, R.G. (2020). Previsão de Coeficientes de Cultura da Fração de Cobertura do Solo e Altura. Antecedentes e Validação Usando Dados de Sensoriamento Remoto e Terrestre. Agrícola. **Gestão de Água**, 241, 106697.
- RAJALAKSHMI, R.; VIDHYA J. (2019) **Toxic environment monitoring using Arduino-based sensors**. International Conference on System, Computing, Automation and Networking (ICSCAN), pp 1–6.
- RAZUMNOVA, L.A.; KAMENEV. R.A.; TURCHIN V.V. (2018). Effect of mineral fertilizers and bacterial preparations on the productivity and oil content of safflower in the North-Eastern area of the Rostov region. **Bull Voronezh State Agrarian Univ**, 1(56): 43-49. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.1.43>.
- ROCHE, J.; MOULOUGUI, Z.; CERNY, M.; MERAH, O. (2019). Effect of sowing dates on fatty acids and phytostérols patterns of *Carthamus tinctorius* L. **Appl. Sci.** 9, 2839.
- RODRIGUES, Á. P. (2022). Desenvolvimento de um protótipo para a automação e controle de irrigação das plantações. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, 8, 2675 – 3375. DOI [doi.org/ 10.51891/rease.v8i5.5655](https://doi.org/10.51891/rease.v8i5.5655). Disponível em: <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/idc-desenvolvimento-de-um-prototipo-para-a-automao-e-controle-de-irrigao-das-plantas.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2022.
- ROSENZWEIG, C.; SOLECKI, W.; ROMERO-LANKAO, P.; MEHROTRA, S.; DHAKAL, S.; IBRAHIM, S. A. (2018). **Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network**. Cambridge: Cambridge University Press.
- SAHOO, K. S.; PUTHAL, D.; TIWARY, M.; USMAN, M.; SAHOO, B.; WEN, Z.; RANJAN, R. (2019). ESMLB: Efficient switch migration-based load balancing for multicontroller SDN in IoT. **Internet of Things Journal**, 7 (7): 5852-5860.
- SALIM, F.; ZENG, X.; HINA, S.; OMER, A. (2021). Regional changes in extreme temperature records over Pakistan and their relationship to Pacific variability. **Atmos. Res.**, 250, 105407.
- SALMAN, S.A; NASHWAN, M.S; ISMAIL, T.; SHAHID, S. (2020). Selection of CMIP5 general circulation model outputs of precipitation for peninsular Malaysia. **Hydrol Res**, 51: 781–798.
- SANTANIELLO, A.; SCARTAZZA, A.; GRESTA, F.; LORETI, E.; BIASONE, A.; DI TOMMASO, D.; PIAGGESI, A.; PERATA, P. (2017). Seaweed Extract Alleviates Drought Stress in Arabidopsis by Affecting Photosynthetic Performance and Related Gene Expression. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.1362. DOI=10.3389/fpls.2017.01362.



SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; SARTORI, M. M. P.; ZANNOTO, M.D.; SILVA, M. A. (2018). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) yield as affected by nitrogen fertilization and different water regimes. **Acta Agronómica**, 67 (2).

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; SILVA, M. A.; KLAR, A. E.; SILVA, A. A. F.; SILVA, T. R. B. (2018). Irrigated safflower in phenological stages of Brazilian southeast dry season. **Irriga**, 23 (3): 493-504.

SARTO, M. V. M.; BASSEGIO, D.; ROSOLEM, C. A.; SARTO, J. R. W. (2018). Safflower root and shoot growth affected by soil compaction. **Soil and Plant Nutrition**, 77 (2): 348-355. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2017191>.

SAYILIR C, CINAR V.M, UNAY A, (2019). Determination of yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under Menemen-Izmir ecological conditions. **Journal Aegean Agric. Res Inst**, 29(1): 71–75. <https://doi.org/10.18615/anadolu.568851>.

SHARMA, D.N.; TARE, V. (2021). Assessment of irrigation requirement and scheduling under canal command area of Upper Ganga Canal using CropWat model. **Modeling Earth Systems and Environment**, 8:1863–1873. DOI 10.1007/s40808-021-01184-7.

SILVA, R. A. D.; SILVA FILHO, E. M.; COSTA, M.; GRACINDO, Â. P. A. C.; AQUINO PESSOA, P. M.; GONDIM, A. D.; LICHSTON, J. E. (2021). Oil Quality and Yield of Different *Carthamus tinctorius* Cultivars: Promising Oilseeds for Biodiesel in Semi-Arid Regions. **Journal of the American Oil Chemists Society**, 98: (3), 241–251. doi:10.1002/aocs.12471.

SILVA, W.A.D.; SANTANA, J.S.; SILVA, C.M.D.; NUNES, A.A. (2017). Regionalização do coeficiente de cultura para o planejamento da agricultura irrigada no Estado do Maranhão -Brasil. **Engenharia Agrícola**, 37 (5): 953-960. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n5p953-960/2017>

STEBERL, K.; HARTUNG, J.; MUNZ, S.; GRAEFF-HÖNNINGER, S. (2020). Effect of row spacing, sowing density, and harvest time on floret yield and yield components of two safflower cultivars grown in southwestern Germany. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. 664.

SUCHORAB, Z.; MAJEREK, D.; KOČÍ, V.; & ČERNÝ, R. (2020). Flat time-domain reflectometry sensor for non-invasive monitoring of moisture changes in building materials. **Measurement**, 165, 108091.

SURYA, S.G.; YUVARAJA, S.; VARRLA, E.; BAGHINI, M.S.; PALAPARTHY, V.S.; SALAMA, K.N. (2020). A field-integrated capacitive sensor for rapid detection and quantification of soil moisture. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 321, 128542.

SÁ, E. L. C.; POLETINE, J. P.; BRONDANI, S. T.; BARELLI, A. A. B.; SILVA, V. P. (2020). Genetic parameters and dissimilarity between safflower accessions. **Journal of Agronomic Sciences**, 4, 269 - 286.

TABIB-LOGHMANI. (2019). Sayed Mohammad Taghi et al. Influence of cut-off irrigation on seed quality and physiological indices of various safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. **Acta Agrobotanica**, v. 72, n. 4.

TAGLIAFERRE, C.; OLIVEIRA, R.A.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; MATERÁN, F. J. V.; MARTINEZ, M. A. (2011). Influência da presença da bordadura e dos níveis de água na evaporação obtida em minievaporímetros. **Revista Ceres**. 58 (2): 161 - 167.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 Ed. Porto Alegre: Artmed, 858 p., 2017.

TALEBI, R.; NOSRATI, S.; ETMINAN, A.; NAJI, A.M. (2018). Genetic diversity and population structure analysis of landrace and improved safflower (*Carthamus tinctorios* L.) germplasm using arbitrary functional gene-based molecular markers. **Biotechnol. Equip.**, 32, 1183–1194.

TIKHAMARINE, Y.; MALIK, A.; PANDEY, K.; SAMMEN, S. S.; SOUAG-GAMANE, D.; HEDDAM, S.; KISI, O. (2020). Monthly evapotranspiration estimation using optimal climatic parameters: efficacy of hybrid support vector regression integrated with whale optimization algorithm. **Environmental Monitoring and Assessment**, 192(11): 1-19.

TOGNERI, R.; KAMIENSKI, C.; DANTAS, R.; PRATI, R.; TOSCANO, A.; SOININEN, J.-P.; CINOTTI, T.S. (2020). **Advancing IoT-based smart irrigation**. **Internet Things Mag**. 2, 20–25.

VAN OOSTEN, M.J.; PEPE, O.; DE PASCALE, S.; SILLETTI, S.; MAGGIO, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, 4 (5). <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>.

VENANCIO, L. P.; DA CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C.; DO AMARAL, C. H.; DOS REIS, E. F. (2019). Evapotranspiração de cultura: uma abordagem dos principais métodos aplicados às pesquisas científicas e na agricultura. **Irriga**, 24: (4), 719-746. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n4p719-746.

VOGEL, E.; DONAT, MG; ALEXANDRE, LV; MEINSHAUSEN, M.; RAY, DK; KAROLY, D.; MEINSHAUSEN, N.; FRIELER, K. (2019). Os efeitos dos extremos climáticos nos rendimentos agrícolas globais. **Ambiente. Res. Lett.** 14, 054010.

WANG, C.; WANG, S.; CHEN, H.; WANG, J.; TAO, Y.; LIU, J. (2018). Evaluation of Water-Storage and Water-Saving Potential for Paddy Fields in Gaoyou, China. **Water**. 10, 1176. **Hydrology**, 9: (123), 10-12.

WANG, H.; YAN, H.; ZENG, W.; LEI, G.; AO, C.; ZHA, Y. (2020). A novel nonlinear Arps decline model with salp swarm algorithm for predicting pan evaporation in the arid and semi-arid regions of China. **Journal of Hydrology**, 582, 124545.

WHALEY, R.; ESKANDARI, M. (2019). Genotypic main effect and genotype-by-environment interaction effect on seed protein concentration and yield in food-grade soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). **Euphytica**, 215, 1–17.

YAN, S.; WU, Y.; FAN, J.; ZHANG, F.; PAW, U.K.T.; ZHENG, J. (2020). A sustainable strategy of managing irrigation based on water productivity and residual soil nitrate in a no-tillage maize system. **J Cleaner, Prod** 262: 121-279.

YAO, Y.; YAO, J.; DU, Z.; WANG, P.; DING, K. (2018). Structural elucidation and immune-enhancing activity of an arabinogalactan from flowers of *Carthamus tinctorius* L. **Carbohydr Polym**, 15 (202):134-142. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.08.098. Epub 2018 Aug 26. PMID: 30286986.

YASEEN, Z. M.; AL-JUBOORI, A. M.; BEYAZTAS, U.; AL-ANSARI, N.; CHAU, K. W.; QI, C.; SHAHID, S. (2020). Prediction of evaporation in arid and semi-arid regions: A comparative study using different machine learning models. **Engineering applications of computational fluid mechanics**, 14(1): 70-89.

YUAN, X.; WANG, L.; WU, P.; JI, P.; SHEFFIELD, J.; ZHANG, M. (2019). Mudança antropogênica para maior risco de seca repentina na China. **Nat. Comum**, 10, 4661.

ZAFARI, M.; EBADI, A.; JAHANBAKHS, S.; SEDGHI, M. (2020). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) biochemical properties, yield, and oil content affected by 24 - epibrassinosteroid and genotype under drought stress. **Journal of agricultural and food chemistry**, 68 (22), 6040 - 6047.

ZEMOUR, K.; ADDA, A.; LABDELLI, A.; DELLAL, A.; CERNY, M.; MERAH, O. (2021). Effects of genotype and climatic conditions on the oil content and its fatty acids composition of *Carthamus tinctorius* L. seeds. **Agronomy**. 11:2048. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102048>.

ZHANG, B.; FU, Z.; WANG, J.; ZHANG, L. (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. **Agricultural Water Management**, 212, 349-357.

ZOU H.; FAN, J.; ZHANG, F.; XIANG, Y.; WU, L.; YAN, S. (2020). Optimization of drip irrigation and fertilization regimes for high grain yield, crop water productivity and economic benefits of spring maize in Northwest China. **Agric Water Manage**, 230: 105986. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.003>.

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Daniel, Cintia

DÉFICIT HÍDRICO EM ESTÁGIOS FENOLÓGICOS NO CULTIVO DE CÁRTAMO / Cintia Daniel; orientador Reginaldo Ferreira Santos. -- Cascavel, 2023.

66 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, 2023.

1. carthamus tinctorius L.. 2. evapotranspiração. 3. demanda hídrica. 4. irrigação. I. Ferreira Santos, Reginaldo , orient. II. Título.

**CINTIA DANIEL**

**Déficit hídrico em estágios fenológicos no cultivo de cártamo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e culturas energéticas, APROVADA pela seguinte banca examinadora:



Reginaldo Ferreira Santos

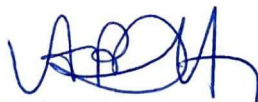
Orientador - Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Ana Paula Morais Mourão Simonetti

Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 28 de fevereiro de 2023

*“Dedico aos meus pais e meus irmãos, que acreditam e encorajam minha busca pelo sucesso pessoal.”*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus, por ter me proporcionado tantos momentos bons durante o meu aprendizado de vida.

Aos meus pais Clari Daniel e Rosani Vesohoski Daniel, por todo apoio, amor, dedicação e ensinamentos propostos durante todo o meu percurso.

Ao meu orientador Dr. Reginaldo Ferreira Santos, pela orientação durante toda a minha formação como mestre.

Aos meus irmãos Everton Daniel e Evelin Daniel, que sempre estiveram apoiando-me e motivando-me na minha caminhada e pelos momentos de distração que passamos juntos.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, por proporcionarem meu crescimento profissional.

À Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDETEC), pela confiança e espaço cedido dentro de suas áreas, para condução do experimento.

Ao Laboratório de Tecnologias Sustentáveis (LABTES), por ceder espaço para o desenvolvimento no geral de minha dissertação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo incentivo à pesquisa no Brasil e pela concessão da bolsa.

As pessoas que contribuíram direta e/ou indiretamente para que o trabalho pudesse ser realizado com sucesso, em especial à Juliana Souza, à Vitória Hubner e ao Félix Pazuch.

A todos, os meus sinceros agradecimentos!

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Caracterização dos tratamentos relativos às disponibilidades de irrigação.....	24
<b>Tabela 2</b> – Requerimento de água nas fases da cultura do algodão .....	25
<b>Tabela 3</b> – Atributos químicos do solo da área experimental.....	29
<b>Tabela 4</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes morfológicos do cártamo conduzido em casa de vegetação.....	32
<b>Tabela 5</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes da biomassa do cártamo conduzido em casa de vegetação... ..	33
<b>Tabela 6</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes de produtividade do cártamo conduzido em casa de vegetação.....	34
<b>Tabela 7</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes morfológicos do cártamo conduzido em campo.....	36
<b>Tabela 8</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes da biomassa do cártamo conduzido em campo.....	37
<b>Tabela 9</b> – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes de produtividade do cártamo conduzido em campo.....	38



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Estágios fenológicos das plantas de cártamo.....	14
<b>Figura 2</b> – Distribuição dos tratamentos em função dos estágios de desenvolvimento da cultura do cártamo.....	26
<b>Figura 3</b> – Distribuição dos tratamentos em função dos estágios de desenvolvimento da cultura do cártamo.....	27
<b>Figura 4</b> – Comparação dos tratamentos entre os experimentos para os componentes morfológicos das plantas de cártamo.....	39
<b>Figura 5</b> – Comparação dos tratamentos entre os experimentos para os componentes da biomassa das plantas de cártamo.....	40
<b>Figura 6</b> – Comparação dos tratamentos entre os experimentos para os componentes de produtividade das plantas de cártamo.....	40

DANIEL, C. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel. Fevereiro de 2023. **Déficit hídrico em estágios fenológicos no cultivo de cártamo**. Dr. Reginaldo Ferreira Santos.

## RESUMO

O cártamo é uma cultura oleaginosa pertencente à família das Asteraceae, que recentemente tem recebido atenção de trabalhos científicos que reconhecem a qualidade do óleo extraído e a resistência da cultura em regiões secas e frias. Porém é conhecido que, mesmo se tratando de uma cultura que se desenvolve em ambientes secos, tem aumento na produtividade quando cultivada em áreas irrigadas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os índices de estresses hídricos na cultura cártamo, utilizando-se da reposição de água no solo com o uso do evaporímetro, e determinar os estágios de maiores demandas hídricas. O estudo foi dividido em duas etapas: um experimento conduzido em casa de vegetação e outro desenvolvido no campo. Ambos os estudos foram conduzidos no município de Cascavel-PR, empregando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo composto por oito tratamentos. Os tratamentos consistiram na disposição de irrigação em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura. As variáveis analisadas foram: altura das plantas, diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea, número de capítulos, número de sementes e peso das sementes. No estudo conduzido em casa de vegetação, o parâmetro altura de plantas apresentou a menor média, quando não recebeu nenhuma irrigação. De acordo com a ANOVA, para o parâmetro diâmetro do caule, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si. As massas fresca e seca mostraram-se mais sensíveis ao déficit hídrico, quando irrigado apenas nos estágios reprodutivo e formação de grãos. O menor número de capítulos foi evidenciado no tratamento que não recebeu nenhuma irrigação. Já os parâmetros número de sementes e peso de sementes apresentaram resultados negativos nos tratamentos irrigados apenas nos estágios vegetativo e formação de grãos, reprodutivo e formação de grãos, todos os estágios e aquele que não recebeu nenhuma irrigação. No experimento realizado no campo, os parâmetros altura de plantas e diâmetro do caule mostraram-se mais sensíveis nos tratamentos que não receberam nenhuma irrigação.

O número de capítulos não demonstrou diferenças significativas entre seus tratamentos. Para os parâmetros massa fresca e massa seca, número de sementes e peso de sementes, o tratamento que teve irrigação disponibilizada em todos os estágios demonstrou queda significativa em suas médias. Em conclusão, verificou-se que a escassez hídrica, devido à restrição de irrigação durante a fase vegetativa, reduz os componentes morfológicos do cártamo. A disponibilidade de água, apenas nos estágios reprodutivo e formação de grãos, resulta em um decréscimo nos componentes da biomassa, e a produtividade do cártamo é favorecida quando irrigada nos estágios vegetativo e reprodutivo da cultura.

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

**PALAVRAS-CHAVE:** *carthamus tinctorius* L.; evapotranspiração; demanda hídrica.

DANIEL, C. State university of west paraná, campus cascavel. february 2023. **Water deficit in phenological stages in safflower cultivation.** Dr. Reginaldo Ferreira Santos.

## ABSTRACT

Safflower is an oilseed crop belonging to the Asteraceae family, which has recently received attention from scientific works that recognize the quality of the oil extracted and the resistance of the crop in dry and cold regions. However, it is known that, even in the case of a crop that grows in dry environments, it has an increase in productivity when cultivated in irrigated areas. Thus, the objective of this work was to evaluate the water stress indices in the safflower crop, using the replacement of water in the soil with the use of the evaporimeter, and to determine the stages of greater water demand. The study was divided into two stages: an experiment conducted in a greenhouse and another carried out in the field. Both studies were conducted in the city of Cascavel-PR, using a completely randomized experimental design (DIC), consisting of eight treatments. Treatments consisted of irrigation at different stages of crop development. The analyzed variables were: plant height, stem diameter, fresh and dry mass of shoots, number of chapters, number of seeds and weight of seeds. In the study conducted in a greenhouse, the plant height parameter had the lowest average when it did not receive any irrigation. According to ANOVA, for the stem diameter parameter, the treatments did not show significant differences between them. Fresh and dry mass were more sensitive to water deficit when irrigated only in the reproductive and grain formation stages. The smallest number of capitula was evidenced in the treatment that did not receive any irrigation. The parameters number of seeds and seed weight presented negative results in the irrigated treatments only in the vegetative and grain formation, reproductive and grain formation stages, all stages and the one that did not receive any irrigation. In the experiment carried out in the field, the parameters plant height and stem diameter were more sensitive in the treatments that did not receive any irrigation. The number of chapters did not show significant differences between their treatments. For the

parameters fresh and dry mass, number of seeds and weight of seeds, the treatment that had irrigation available in all stages showed a significant drop in their averages. In conclusion, it was found that water scarcity, due to irrigation restriction during the vegetative phase, reduces the morphological components of safflower. The availability of water, only in the reproductive and grain formation stages, results in a decrease in the biomass components, and safflower productivity is favored when irrigated in the vegetative and reproductive stages of the crop.

"The present work was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel – Brazil (CAPES) - Financing Code 001"

**KEYWORDS:** *carthamus tinctorius* L.; evapotranspiration; water demand.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
2.1 A cultura do cártamo ( <i>Carthamus tinctorius</i> L.) .....	3
2.1.1 Importância econômica e social da cultura .....	3
2.1.2 Necessidade hídrica da cultura .....	4
2.2 Água no rendimento das culturas.....	5
2.3 Manejo da irrigação.....	6
2.3.1 Arduino em projetos de irrigação.....	11
2.4 Evapotranspiração (ET).....	8
2.4.1 Evapotranspiração de referência (ET <sub>0</sub> ).....	9
2.4.2 Evapotranspiração da cultura (ET <sub>c</sub> ).....	10
2.4.3 Coeficiente de cultivo (K <sub>c</sub> ).....	11
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
3.1 Descrição e localização.....	13
3.2 Delineamento e caracterização dos tratamentos .....	13
3.3 Cálculo da evapotranspiração de referência (ET <sub>0</sub> ) .....	14
3.4 Experimento conduzido em casa de vegetação .....	15
3.5 Experimento conduzido em campo .....	16
3.5.1 Caracterização do solo, adubação, material experimental e semeadura .....	18
3.5.2 Irrigação .....	19
3.6 Variáveis analisadas .....	19
3.6.1 Altura de plantas. ....	19
3.6.2 Diâmetro do caule .....	19
3.6.3 Massa fresca e seca da parte aérea .....	20
3.6.4 Número de capítulos .....	20
3.6.5 Número e peso das sementes.....	20
3.7 Análise estatística dos dados.....	20

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>21</b>
4.1 Experimento em casa de vegetação .....	21
4.2 Experimento em campo.....	25
4.3 Comparação de dados entre os experimentos.....	28
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>34</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma oleaginosa pertencente à família das asteraceae (ANICÉSIO *et al.*, 2018). Suas plantas apresentam caules ramificados e eretos de porte herbáceo variando entre 0,4 e 2,0 m de altura, com sistema radicular pivotante, podendo atingir até 3,0 m de profundidade (NETO *et al.*, 2020). A cultura vem sendo cultivada para fins da produção de óleo, principalmente, para o uso na produção de biodiesel, no trato animal, aplicabilidade em indústrias de cosméticos, fabricação de corantes industriais e culinários e usos farmacêuticos (CHAKRADHARI *et al.*, 2020; KIM *et al.* 2020; STEBERL *et al.* 2020).

FAOSTAT (2017) indica que o ciclo médio mundial da cultura para produção de sementes varia de acordo com a semeadura sazonal: 200 dias no outono, 230 dias no inverno, 190 dias no inverno e 120 dias no verão. O ciclo médio de cultivo do cártamo no Brasil gira em torno de 150 dias, podendo ser cultivado o ano todo, principalmente, na entressafra das principais culturas (AMBORASANO, 2012; GALANT e SANTOS 2015).

Seu cultivo vem se expandindo devido a algumas características importantes, como a tolerância às altas temperaturas, a solos salinos, à baixa umidade, ao déficit hídrico e aos ventos fortes e quentes (BAGHERI e SAM-DAILIRI, 2011; SÁ *et al.*, 2020). Tem potencial em plantios alternativos nas entressafras brasileiras (ZAFARI *et al.*, 2020; BIDGOLY *et al.*, 2018). No momento do estabelecimento da cultura, o produtor deve abarcar a necessidade hídrica da mesma, para estimar o volume necessário de água durante seu ciclo de desenvolvimento. Para tal propósito, definir os períodos em que a cultura se encontra suscetível à falta de água é essencial para reduzir perdas na produtividade (CARVALHO *et al.*, 2013).

O estresse hídrico no solo, durante a floração até o enchimento de grãos, prejudica os componentes de rendimento e o rendimento na cultura do cártamo (TABIB-LOGHMANI *et al.*, 2019). A irrigação complementar, durante esses períodos críticos de secas severas e umidade insuficiente no solo, elevará a produtividade do cártamo (SANTOS *et al.*, 2018; KOÇ, 2019; DOĞAN, 2021).

Métodos tradicionais de cultivos agrícolas estão sendo insuficientes para atender a demanda mundial de alimento. Por esta razão, o entendimento do



comportamento das plantas em relação à variação da água no solo em estádios fenológicos, pode ser o fator fundamental para o manejo da irrigação na gestão da agricultura 4.0 (KUNDALIA *et al.*, 2020; GANDHI *et al.*, 2020; AHIR *et al.*, 2020). Zhang *et al.* (2019) realizou um estudo de caso na cidade de Pequim, na China, o qual revelou que 53,1% dos agricultores adotaram tecnologias de engenharia da irrigação, como o uso de sistemas de irrigação automáticos. Essa utilização de técnicas de irrigação visa otimizar o uso da água, consumindo somente a quantidade de água que a cultura realmente necessita (EMBRAPA, 2022).

A estimativa da demanda hídrica da cultura, com o uso de evaporímetros, por exemplo, o tanque classe A e evaporímetro de Piché foram projetados para facilitar a aquisição dos valores de evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), ou seja, multiplicando os valores da evapotranspiração de referência adquiridos de diferentes formas, através do coeficiente de cultivo da cultura a ser irrigada naquela fase de desenvolvimento (TAGLIAFERRE *et al.*, 2011).

Ante o exposto, o presente estudo foi planejado com o objetivo de avaliar os índices de estresses hídricos na cultura cártamo, utilizando-se da reposição de água no solo, com o uso do evaporímetro, e determinar os estágios de maiores demandas hídricas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1A cultura do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.)

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma cultura oleaginosa anual, pertencente à família asteraceae (Figura 1), original do Crescente Fértil Asiático (YAO *et al.*, 2018; TALEBI *et al.*, 2018). Devido aos diversos tipos de uso, a cultura passou a possuir um alto valor econômico e a ser cultivada como produto comercial em vários países (BIDGOLY *et al.*, 2018).

**Figura 1** – Desenvolvimento fenológico das plantas de cártamo.



**Fonte:** Autor, 2021.

As sementes apresentam coloração branco-amarelada de característica eurispérmica, pois seu formato é irregular de base arredondada e ápice achatado. A germinação é do tipo epígea fanerocotiledônea, podendo a taxa de germinação variar de 3 a 8 dias a partir da data da sementeira, embora o período de germinação possa se estender por até três semanas, a depender das condições climáticas (OEIKE *et al.*, 1992; ABUD *et al.*, 2010).

O crescimento inicial da cultura é caracterizado por um estágio lento chamado estágio de roseta, que pode variar com o material genético e as condições climáticas. Temperaturas amenas, nesta fase, são responsáveis pelo alongamento do estágio, enquanto altas temperaturas podem suprimir essa etapa. No estágio de roseta, o caule central não desenvolve novos ramos, por duas a três semanas, apenas folhas grandes próximas ao solo. Como resultado, as lacunas nas fileiras de sementes, que as plantas de cártamo não preenchem, facilitam o surgimento de

plantas invasoras que podem competir por água, luz e nutrientes. Porém, nesse período, as plantas podem resistir ao frio e às geadas, além de desenvolverem um sistema radicular que proporciona maior resistência à seca (ABEL, 1975; OEIKE *et al.*, 1992; BERGLUND; RIVELAND; BERGMAN, 2010).

A floração começa na haste central e se espalha pelos ramos com duração de 14 a 21 dias, dependendo das condições do ambiente. As flores podem ser amarelas, alaranjadas, roxas ou brancas (MÜNDEL *et al.*, 2004; ABUD *et al.*, 2010; BELLÉ *et al.*, 2012). Quatro a cinco semanas após o início da floração, desenvolvem-se capítulos fechados e esféricos, cada um dos quais pode conter de 15 a 30 sementes.

As temperaturas ótimas para o crescimento do cártamo estão na faixa de 20-35 °C (CORONADO, 2010).

### **2.1.1 Importância econômica e social da cultura**

No Brasil, a cultura do cártamo é uma das oleaginosas mais econômicas (KHOUNANI *et al.*, 2019), que vem sendo cultivada, principalmente, nos períodos de outono e inverno, em regiões áridas e semiáridas (SARTO *et al.*, 2018; PALUDO *et al.*, 2018), quando, eventualmente, ocorrem chuvas irregulares (SANTOS, 2018). O cártamo apresenta fácil adaptabilidade em diferentes tipos de solo, dispensando o uso de muitos equipamentos em seu cultivo, auxiliando na sustentabilidade da produção agrícola e sendo facilmente adaptável em rotações de culturas, reduzindo, assim, áreas em pousio (AKGUN e SOYLEMEZ, 2022).

Suas plantas são extremamente importantes em termos de contribuição para a indústria de biodiesel, corantes, rações (AKGUN e SOYLEMEZ, 2022) e, principalmente, pelo fato de que são ricas em ácidos graxos insaturados, por exemplo, os ácidos oleico e linoleico (ROCHE *et al.*, 2019). O elevado teor de ácido oleico de suas sementes amplia a vida útil de prateleira desse óleo (KADIRVEL, *et al.*, 2020).

Silva *et al.* (2021) apontaram, em um estudo, que o óleo extraído das sementes possui grande potencial como biocombustível e que, quando o cártamo é

cultivado em condições semiáridas, ha um rendimento de 34,33 % de óleo, excedendo culturas que estão sendo investigadas para esse mesmo fim.

A torta de cártamo é utilizada para formular ração animal devido ao seu alto teor de proteína, em detrimento de um subproduto derivado do óleo de girassol que, muitas vezes, é importado do exterior pelo seu baixo custo (PELARACCI *et al.*, 2022).

Nos tempos antigos, era usado como corante auferido das flores e era amplamente utilizado em alimentos e tecidos. As evidências datam seu cultivo no Egito desde os anos 1600 a.C. (BRITANNICA, 2019). De acordo com Dubey e Singh (2019), o cártamo é rico em vitamina E, podendo ser utilizado também como planta medicinal.

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO (2019), Cazaquistão, Índia, Estados Unidos, México, Argentina, Austrália e Egito são os principais produtores de grãos de cártamo, principalmente, para culturas rotativas de extração de óleo, juntamente com arroz, trigo e milho.

O Cazaquistão produziu 214.149 toneladas de sementes de cártamo em 2018, enquanto que, em 2016, a produção foi de 167.243 toneladas. Essa produção superou em 3 vezes os números registrados pelos EUA, o segundo maior produtor (107.220 toneladas em 2018). A Califórnia é o maior produtor de sementes de cártamo nos Estados Unidos, respondendo por 50% da produção. Alguns fatores, como o fato de o cártamo ser uma oleaginosa resistente à seca, exigir baixos insumos de produção, possuir fácil adaptação a vários tipos de solo, eficácia na rotação de culturas, no controle de ervas daninhas e doenças, baixo risco de produção e facilidade de colheita e armazenamento vêm aumentando a demanda por sementes de cártamo em todo o mundo (FAO, 2019).

### **2.1.2 Necessidade hídrica da cultura**

As plantas de cártamo são excepcionalmente resistentes à seca e toleram perfeitamente a falta de água, como evidenciado pelo seu rendimento que é de, aproximadamente, 2,5 t/ha em áreas de umidade insuficiente. Isso difere o cártamo

do girassol e, especialmente, da colza, que, geralmente, requerem uma certa quantidade de água para frutificar (RAZUMNOVA *et al.*, 2018).

A precipitação necessária antes da floração é de cerca de 600 mm, o que é mais da metade dos 800-1000 mm totais necessários para todo o ciclo. A incidência de ventos secos é adequada para a baixa incidência de doenças, como a mancha de alternaria. No entanto, em regiões mais secas, o cártamo pode ser cultivado com umidade residual do solo, exigindo que dois terços da necessidade total de água para o pré-plantio estejam presentes no solo (OYEN E UMALI, 2007).

Estudos mostraram que o teor de óleo (teor de gordura) das sementes de cártamo varia sob a influência das condições ambientais e de elementos das técnicas de cultivo durante a estação de crescimento (SAYILIR *et al.*, 2019; KUMARI *et al.*, 2021; JOSHI *et al.*, 2021). Cientistas que estudaram diferentes cultivares de cártamo na região de Tiaret (oeste da Argélia) também confirmaram o efeito de condições semiáridas, caracterizadas por baixa precipitação e altas temperaturas, no teor de óleo (ZEMOUR *et al.*, 2021).

Estudos realizados em algumas dessas condições mostraram que a seca, relacionada ao calor, reduz o teor de óleo e altera sua composição durante o enchimento dos grãos de cártamo (ROCHE *et al.*, 2019; WHALEY e ESKANDARI, 2019).

## **2.2. Água no rendimento das culturas**

A adaptação às mudanças climáticas é um dos principais objetivos da agricultura hoje. O uso de variedades e espécies de culturas adequadas e a diversificação dos sistemas de cultivo são práticas de adaptação fundamentais para enfrentar os desafios climáticos (ACEVEDO *et al.*, 2020; HUFNAGEL *et al.*, 2020).

A água é uma necessidade para a civilização humana, sendo utilizada em indústrias, necessidades domésticas, gestão da paisagem e, principalmente, para atividades agrícolas, uma das maiores consumidoras de água doce (MAHMOUD *et al.*, 2020). As mudanças climáticas estão afetando o ciclo hidrológico e regulando a quantidade de precipitação em sua distribuição ao redor do mundo. O aumento das temperaturas globais está aumentando as taxas de evaporação e o estresse hídrico

em plantas cultivadas (MANSOOR *et al.*, 2022), o que ocasiona uma redução nos padrões de absorção de nutrientes e no rendimento das culturas (MEENA *et al.*, 2019).

Essas mudanças também podem elevar a demanda por irrigação agrícola, aspersores de jardim e até piscinas. A demanda crescente pode ser atendida sacrificando recursos de água doce ou reutilizando água de baixa qualidade (DOTANIYA *et al.*, 2018). Gerenciar recursos hídricos sustentáveis, em nível regional e internacional, torna-se indispensável para a agricultura atual (MAHMOUD *et al.*, 2020).

Mudanças dramáticas do calor extremo (SALIM *et al.*, 2021) tornam as regiões do mundo com escassez de água mais suscetíveis aos riscos ocasionados pela seca (HINA e SALEEM, 2019). Devido ao crescimento populacional e ao uso de setores agrícolas, a escassez de água tornou-se um importante fator ambiental que limita a estabilidade de altos rendimentos agrícolas em regiões áridas, semiáridas e subúmidas (YAN *et al.*, 2020; COMAS *et al.*, 2019). Portanto, a eficiência do uso da água das culturas deve ser melhorada ainda mais no futuro (ZOU *et al.*, 2020).

O impacto significativo do calor extremo na agricultura global está bem documentado na literatura (VOGEL *et al.*, 2019). Ondas de calor e secas simultâneas resultaram em perdas substanciais de culturas alimentares na Europa (BASTOS *et al.*, 2020). Sob o aquecimento global, as estações de cultivo prolongadas aumentam as taxas de evapotranspiração e reduzem a umidade do solo, o que, por sua vez, aumenta o risco de secas repentinas (YUAN *et al.*, 2019).

As mudanças climáticas afetarão todos os setores da economia, mas podem ser piores para a agricultura (ALAMGIR *et al.*, 2020). Vários estudos mostraram que as mudanças climáticas estão causando uma expansão significativa de terras secas (NOOR *et al.*, 2019; SALMAN *et al.*, 2020; HAMED *et al.*, 2021; HAMED *et al.*, 2022).

Elevações em extremos hidrológicos, particularmente, secas, já são evidentes e devem se intensificar no futuro (FOWLER *et al.*, 2020). Eventualmente, essas mudanças alterariam a necessidade de irrigação das culturas, período de crescimento, rendimento e subsistência para os agricultores e a segurança alimentar nacional (HOMSI *et al.*, 2020; ARIKAN *et al.*, 2021). As medidas de adaptação, baseadas nas condições climáticas projetadas, são essenciais para sustentar o

rendimento das culturas e reduzir o risco de mudança climática na agricultura (MAGHREBI *et al.*, 2020).

### 2.3 Manejo da irrigação

Na agricultura, a água é um recurso natural valioso, porém limitado (KAMIENSKI *et al.*, 2019; SAHOO *et al.*, 2019). O rendimento das culturas é afetado por muitas condições ambientais, incluindo a temperatura do ar, temperatura do solo e umidade do mesmo (BAVOUGIAN e READ, 2018).

A irrigação disponibilizada para as plantas é um componente importante para a produção agrícola (BAVOUGIAN e READ, 2018). Os agricultores dependem, principalmente, da supervisão humana e da experiência para colher seus campos (GLAROUDIS *et al.*, 2020). O abastecimento de água aos campos deve ser conservado (LIU *et al.*, 2020). Como os rendimentos das culturas podem ser significativamente aumentados com irrigação, os países em desenvolvimento aumentam a produção de alimentos, principalmente, pela utilização da água e expansão das áreas irrigadas (NAZARI *et al.*, 2018).

A irrigação de precisão sustentável é um passo importante para a segurança alimentar, juntamente com a implementação de medidas de economia da água para compensar chuvas incertas e os efeitos da escassez de água provocada pela seca na região (GU *et al.*, 2020). O planejamento preciso da irrigação foca o uso eficiente da água para cada cultura, onde e quando necessário, na quantidade certa, para compensar a perda de água por transpiração, erosão ou infiltração (KUMAR *et al.*, 2020; BIGAH *et al.*, 2019).

Com o manejo adequado da irrigação, através do monitoramento eficiente e controle otimizado, pode-se economizar água, bem como outros custos indiretos resultantes do uso de energia na forma de eletricidade ou de combustíveis fósseis (TOGNERI *et al.*, 2020; CÁCERES *et al.*, 2021).

A elaboração de um sistema de irrigação de precisão sustentável necessita da integração de tecnologias modernas, como inteligência computacional, agro-hidroinformática e tecnologia da informação, por meio da detecção e gestão de dados efetivos de solo, vegetação e clima (CELICOURT *et al.*, 2021; MADURANGA

*et al.*, 2020). Essas tecnologias irão auxiliar na transformação de dados brutos, coletados em decisões e ações de irrigação, em campo ou na estufa. Além disso, irão potencializar o uso de água para irrigação e eletricidade para bombeamento, reduzindo custos de mão de obra (GOAP *et al.*, 2018; KOECH e LANGAT, 2018).

Segundo Jha *et al.* (2018), aprender a manusear sistemas automatizados significa fornecer dados de experimentos anteriores e dados estatísticos para que a máquina possa executar a tarefa atribuída de resolver um determinado problema. Adicionalmente, o avanço de diferentes modelos, para a estimativa de dados climáticos e ambientais, contribuiu para que os agricultores pudessem monitorar e visualizar facilmente vários parâmetros em seus dispositivos de computação inteligente, tablets e smartphones, auxiliando-os em suas decisões de forma manual ou inteligente (JAAFAR e KHARROUBI, 2021). Pesquisas mostraram que 90% dos agricultores concordam que uma melhor gestão da irrigação com o uso de aplicativos web e móveis pode colaborar na melhora dos rendimentos e da lucratividade em suas fazendas (JAAFAR e KHARROUBI, 2021).

Em regra, o uso de água de irrigação consiste no total de água retirada de um reservatório para um sistema de irrigação durante toda a temporada de safra, também conhecido como demanda total de água de irrigação (DANIEL *et al.*, 2019). Uma particularidade importante da economia de água é escolher o cronograma de irrigação correto. Ao regar durante períodos de calor e altas temperaturas, cerca de 30% da água utilizada é evaporada. Uma solução para evitar o desperdício é regar no início da manhã ou no final da tarde, quando as condições climáticas são favoráveis para esse processo (ROSENZWEIG *et al.*, 2018).

### **2.3.1 Arduino em projetos de irrigação**

O arduino é uma plataforma utilizada, principalmente, no desenvolvimento de protótipos eletrônicos (sistema embarcado), podendo ser empregado na automatização da irrigação. É um sistema de baixo custo, que vem se mostrando cada vez mais acessível, construído para tarefas específicas (RODRIGUES, 2022).

Como já dito anteriormente, o arduino é uma plataforma de computação física de código aberto para criar objetos interativos autônomos ou conectados à



internet. O software arduino é conhecido como Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE). É uma pequena placa microcontroladora que contém um computador inteiro em um pequeno chip (microcontrolador) (BANZI e SHILOH, 2022; RAJALAKSHMI, 2019).

Arduinos são usados para conectar sensores e atuadores, em que o sensor detecta algo no mundo físico e o converte em um sinal que o computador pode entender, enquanto o atuador traduz sinais de computadores em ações no mundo físico. O incremento de microcontroladores, sensores de umidade e seus programas de controle pode aumentar a eficiência dos sistemas de controle de irrigação (SUCHORAB *et al.*, 2020; SURYA *et al.*, 2020), podendo reduzir o uso de água em quase 50% em comparação com a irrigação convencional (WANG *et al.*, 2018; LIOU *et al.*, 2014).

## 2.4 Evapotranspiração (ET)

A expressão “evapotranspiração” compreende dois fluxos diferentes: a transpiração das plantas através da fotossíntese (processos biológicos) e a evaporação da água de superfícies de águas abertas (processo abiótico). Mudanças climáticas podem afetar a evapotranspiração em razão do aumento da radiação solar, temperatura do ar e da quantidade máxima de vapor de água no ar (LEMAITRE-BASSET *et al.*, 2022).

Evapotranspiração (ET) é a maior causa de perda de água em áreas de cultivo semiárido (LIOU *et al.*, 2014). A ET e a precipitação representam o clima de uma região e são empregadas como suporte em decisão de gestão da água agrícola. A ET, ao mesmo tempo que contribui com o equilíbrio da energia de superfície, estima as necessidades hídricas para uma logística eficaz da água (ELIADES *et al.*, 2022). Em áreas de vegetação, a taxa de ET é a mesma que a taxa de absorção de água da vegetação, de modo que a ET pode ser usada como medida de estresse hídrico da planta (HAO *et al.*, 2021).

A estimativa precisa da ET é importante para compreender e quantificar processos que controlam a ET, esclarecer incertezas no comportamento do ciclo hidrológico e das mudanças climáticas (KRISHNA, 2018). Como a ET é um fator-

chave no balanço hídrico em escala global, estimativas bem fundamentadas para regular componentes do sistema de irrigação são indispensáveis: capacidade das bombas, tamanho dos canais e barragens etc., devido à baixa gestão da água (ENTEZARI *et al.*, 2019).

A ET é uma das principais fontes de consumo da água agrícola. Historicamente, a transpiração, em termos das necessidades reais de água nas plantas, tem sido avaliada por observações de campo da cultura e do solo irrigado (ALTOBELLI *et al.*, 2014). A conservação da água, em esquemas eletrônicos de irrigação, é uma preocupação crescente em escala global e local (KRISHNA, 2018). Incentivar os agricultores a praticarem tecnologias de conservação da água e estabelecer órgãos reguladores que restrinjam a alocação de água na agricultura podem levar a uma gestão sustentável dos recursos hídricos utilizados na agricultura (WANG *et al.*, 2018).

Existem dois procedimentos para calcular e avaliar a evaporação – diretos e indiretos (BURT *et al.*, 2005). A evaporação por evaporímetros é um método direto bem conhecido. É utilizado extensivamente na estimativa da taxa de evaporação. Os evaporímetros não devem ser posicionados em qualquer lugar, principalmente, em regiões inacessíveis onde a instrumentação precisa não é possível (KISI, 2009). A ET pode ser estimada mediante parâmetros meteorológicos e hidrológicos, como a velocidade do vento, duração da insolação, umidade, temperatura e precipitação (WANG *et al.*, 2020; YASEEN *et al.*, 2020).

Medições precisas de alguns desses fatores meteorológicos requerem mão de obra qualificada e ferramentas avançadas. Falha de instrumento, manutenção inadequada e condições climáticas ruins, muitas vezes, dificultam a medição desses dados, que são críticos para prever a evaporação por meio de equações empíricas (NOURANI *et al.*, 2020).

#### **2.4.1 Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)**

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é uma medida de perda de água da superfície e da planta. Ela ajusta a quantidade de água de irrigação com base nas condições climáticas, sendo a questão mais importante na gestão e planejamento de

recursos hídricos (KESHTEGAR *et al.*, 2022). O uso da água de irrigação, de acordo com a taxa ETo, pode auxiliar na conservação da água enquanto mantém o rendimento das culturas (KESHTEGAR *et al.*, 2019).

Estudos mostraram que mudanças climáticas afetam a ETo e que seus valores diferem de lugar para lugar (RAI *et al.*, 2019; AJJUR e AL-GHAMDI, 2021; GHAZI *et al.*, 2021; BARZKAR *et al.*, 2021; KUSHWAHA *et al.*, 2022). As mudanças em ETo, bem como na ET e a ETc, não são afetadas apenas pelo aumento ou queda da temperatura, mas por outros fatores climáticos, como a radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento etc. (HARGREAVES e SAMANI, 1982).

A evapotranspiração é um elemento importante do ciclo hidrológico e a base para o planejamento da água de irrigação (TIKHAMARINE *et al.*, 2020), sendo responsável por mais de um terço das perdas globais de precipitação (TIKHAMARINE *et al.*, 2020).

A ETo pode ser obtida utilizando alguns modelos empíricos ou semiempíricos baseados em dados meteorológicos, como umidade do ar, temperatura, velocidade do vento e radiação solar (FAN *et al.*, 2019). Esses modelos têm sido amplamente aceitos pela comunidade agrícola, mas exigem grandes quantidades de dados meteorológicos. A aplicação desses modelos é complexa e não é adequada para a aplicação da programação da água de irrigação no nível do agricultor (TIKHAMARINE *et al.*, 2020). Além disso, a previsão precisa de ETo é igualmente importante. Portanto, a solução proposta visa determinar a taxa de ETo com base na cultura dominante no campo, detectando diretamente as condições ambientais do local de cultivo (KESHTEGAR *et al.*, 2019).

#### **2.4.2 Evapotranspiração da cultura (ETc)**

A evapotranspiração das culturas (ETc) é uma concepção muito importante na agricultura. A ETc refere-se à quantidade de água requerida pelas culturas, em diferentes estágios de desenvolvimento, com um manejo adequado da irrigação (PARAJULI *et al.*, 2019). Barbieri *et al.* (2020) constataram que a evaporação aumenta com temperaturas mais altas no verão, aumentando também a ETc e a demanda por água de irrigação. Os valores de ETc variam de acordo com o clima,

área de cultivo, período de cultivo e tipo de solo (SHARMA e TARE, 2021). A evaporação da água pode aumentar, durante a estação seca, sob condições de altas temperaturas, altas velocidades de vento e baixa umidade relativa (EWAID, ABED e AL-ANSARI, 2019).

Estimar ou determinar com precisão a  $ET_c$  e a quantidade de água a ser irrigada, durante o cultivo da cultura, ajuda a desenvolver um cronograma de irrigação adequado e também evita perdas de rendimento devido à irrigação. O principal propósito da irrigação é assegurar a continuidade da  $ET_c$  e propiciar umidade suficiente na zona radicular das plantas sob condições de baixa pluviosidade (BARBIERI *et al.*, 2020).

O uso eficiente e eficaz dos recursos hídricos requer um sistema bem planejado, desenvolvido e operado, não podendo ser considerado independente do padrão de vegetação da área (BARBIERI *et al.*, 2020).

### **2.4.3 Coeficiente de cultivo ( $K_c$ )**

O  $K_c$  geralmente é determinado integrando ações de vários parâmetros, como fisiologia da planta, taxa de crescimento e condições climáticas (IRMAK, 2008). Isso leva a uma curva ou protocolo de  $K_c$ , que propõe valores em função dos dias, desde o início da safra (pois, nas safras, significa o número de dias desde o plantio/semeadura) (HANSON e MAY, 2006).

Contudo, esses valores de  $K_c$  podem diferir de valores tabulados em virtude de práticas agrônômicas e diferentes densidades de plantio (PEREIRA *et al.*, 2020). O  $K_c$  é mais complexo – é um parâmetro dinâmico e específico do clima no planejamento da irrigação, que indica as necessidades relativas de água das culturas para diferentes estágios de desenvolvimento (SILVA *et al.*, 2017). Os valores padrões de  $K_c$  podem ser encontrados na literatura e, geralmente, são atribuídos a cada estágio de desenvolvimento da planta (PEREIRA *et al.*, 2021). O uso de dados *in situ* de microclima e de fatores de cultura ajuda a determinar o uso de água da cultura e a divulgar essas informações aos produtores em um formato útil e confiável (ALLEN *et al.*, 1998).

O valor de  $K_c$ , para a maioria das culturas agrícolas, aumenta desde o valor mínimo no plantio até que o valor máximo de  $K_c$  seja atingido com dossel completamente desenvolvido. O  $K_c$  tende a diminuir em um ponto após a cobertura total ser alcançada durante o crescimento da planta. O grau de declínio depende das características específicas de crescimento da cultura e do manejo da irrigação ao final do cultivo (VENANCIO *et al.*, 2019).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição e localização

O estudo foi dividido em duas etapas: um experimento conduzido em casa de vegetação na área experimental do campus da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, com início em 12 de abril de 2021, e outro desenvolvido no campo, na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNDETEC, iniciando no dia 9 de março de 2022. Ambos os experimentos foram realizados no município de Cascavel-PR. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, revisada por Kottek *et al.* (2006), o clima de Cascavel é subtropical úmido com temperatura média anual em torno de 19 °C. A média anual de pluviosidade é de 1841 mm.

#### 3.2 Caracterização dos tratamentos

Os tratamentos consistiram na disposição da irrigação em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura, descritas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Caracterização dos tratamentos relativos às disponibilidades de irrigação.

Tratamentos	Descrição da disponibilidade de irrigação
T1	Vegetativo
T2	Reprodutivo
T3	Formação de Grãos
T4	Vegetativo e Reprodutivo
T5	Vegetativo e Formação de grãos
T6	Reprodutivo e Formação de grãos
T7	Nenhum dos estágios
T8	Todos os estágios

\*\*Todos os tratamentos receberam adubação mineral de base contendo NPK.

As irrigações foram disponibilizadas em cada estágio fenológico da cultura (Figura 2) de acordo com a classificação de Flemmer, Franchini e Lindström (2015), Rivas e Matarazzo (2009).



**Figura 2.** Estágios Fenológicos do *Carthamus tinctorius* L. adaptado de Flemmer, Franchini e Lindström (2015), Rivas e Matarazzo (2009) até a floração. D1: D1.1: Emergência; D2: D2.1: Vegetativo; D3: Diferenciação da inflorescência central; D4: Ramificação das inflorescências laterais; D5: Reprodutivo; D6: Ponto de colheita das hastes; D7: Plena floração; D8: Formação de grãos; D9: Hastes florais secas.

### 3.3 Cálculo da necessidade hídrica da cultura

A irrigação foi diária, com base na necessidade hídrica da cultura, em função de cada tratamento abordado na pesquisa. O cálculo da necessidade hídrica da cultura (Equação 1) foi obtido através da multiplicação entre a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>FAO) de referência obtido da FAO (ALLEN, 1998). A evapotranspiração cultural (ET<sub>c</sub>) (mm d<sup>-1</sup>) é continua – multiplicando-se a evapotranspiração de referência ET<sub>o</sub> (mm d<sup>-1</sup>) pelo coeficiente cultural (K<sub>c</sub>) (adimensional), como vulgarizado por Doorenbos e Pruitt (1977):

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (1)$$

Em que:

ET<sub>o</sub> é a quantidade evaporada diariamente do tanque evaporímetro (mm dia<sup>-1</sup>), e o K<sub>c</sub> é, basicamente, a razão entre a ET<sub>c</sub> e ET<sub>o</sub>, representando a integração dos efeitos de quatro características primárias, que distinguem as culturas da grama utilizada como referência: altura da cultura, albedo da superfície, cultura-solo, resistência do dossel da folha e evaporação do solo. Tendo em vista que ainda não se tem essa informação para o cártamo, foi utilizado o K<sub>c</sub> do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), pertencente à família malvaceae, o qual apresenta necessidades hídricas semelhantes, como demonstrado na Tabela 2.

**Tabela 2** – Requerimento de água nas fases da cultura do algodão.

Requerimento de água	Dias após a semeadura
Kc 0,45	20
Kc 0,75	40
Kc 1,15	80
Kc 0,85	100

**Fonte:** BARRETO, BEZERRA E SILVA (2003).

### 3.4 Experimento conduzido em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na área experimental, no campus da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, localizado no município de Cascavel-PR, tendo latitude 24° 53' 47" S e longitude 53° 32' 09" W. Situa-se no terceiro planalto do estado, na região oeste paranaense, com uma altitude média de 785 metros e uma área de 2.091 km<sup>2</sup>. O estudo iniciou-se no dia 12 de abril de 2021, sendo conduzido em casa de vegetação do tipo túnel alto de polietileno de baixa densidade, sem controle da temperatura.



O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por oito tratamentos e quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de tubos PVC com capacidade de 50 litros, com medidas de 0,1 m de diâmetro e 0,60 m de altura. Cada parcela experimental foi constituída por quatro tubos contendo duas plantas cada. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente por sorteio (Figura 3).

A semeadura e os tratos culturais foram realizados manualmente. A profundidade de semeadura foi de aproximadamente três centímetros, colocando-se 4 sementes por tubo; posteriormente, foi realizado o desbaste, deixando apenas duas plantas por tubo. A cultivar utilizada foi a IPR – 211, doada pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), sendo adaptada para cultivo em todo o Estado do Paraná nos meses de abril e maio, com duração em seu ciclo de 160 dias e potencial produtivo de 1,0 a 1,9 t/ha.

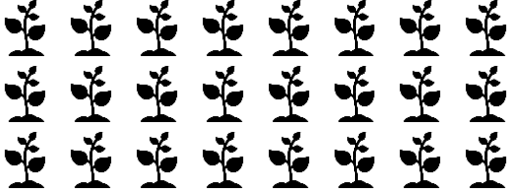
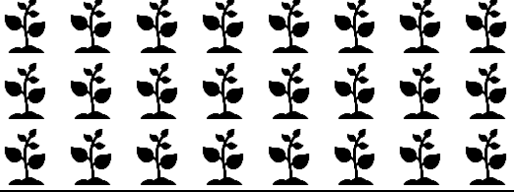
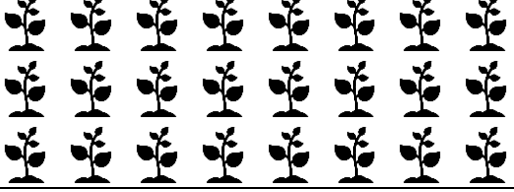
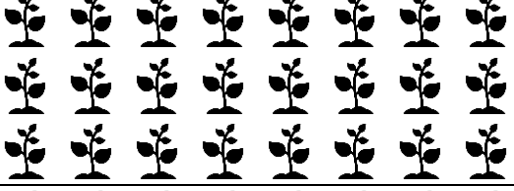
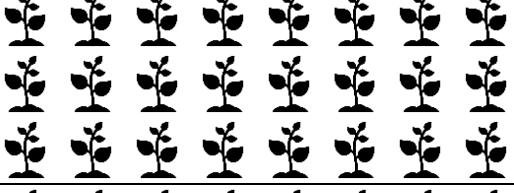
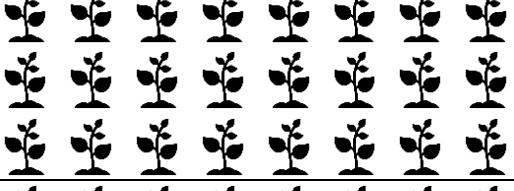
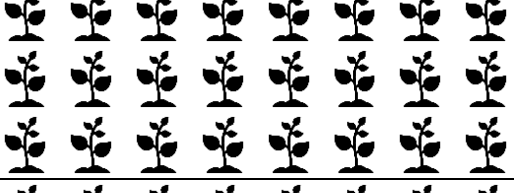

As irrigações foram realizadas manualmente utilizando-se de um becker de plástico graduado em ml/litro de acordo com a necessidade hídrica da cultura, obtida através do cálculo de evaporação descrito no tópico 3.3.



**Figura 3** – Distribuição dos tratamentos em função dos estágios de desenvolvimento da cultura do cartamo.

### 3.5 Experimento em Campo

O estudo conduzido no campo foi desenvolvido na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNDETEC, localizada na Rodovia BR 277 Km 573 - s/n, no município de Cascavel-PR, latitude sul 25° 00' 36", longitude oeste 53° 17' 52" e altitude de 832 metros. A condução do ensaio iniciou-se no dia 9 de março de 2022. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com oito tratamentos e seis repetições, totalizando 48 unidades experimentais (Figura 4).

	T7 - Nenhum dos estágios
	T4 - Vegetativo e reprodutivo
	T6 - Reprodutivo e formação de grãos
	T3 - Formação de grãos
	T1 – Vegetativo
	T2 – Reprodutivo
	T5 - Vegetativo e formação de grãos
	T8 - Todos os estágios

**Figura 4.** Distribuição dos tratamentos em função dos estágios de desenvolvimento da cultura do cârtamo. T1: Vegetativo; T2: Reprodutivo; T3: Formação de grãos; T4: Vegetativo e Reprodutivo; T5: Vegetativo e formação de grãos; T6: Reprodutivo e formação de grãos; T7: Nenhum dos estágios; T8: Todos os estágios.

Cada parcela experimental foi constituída por três fileiras de plantas, com três metros de comprimento, sendo 28 plantas por fileiras, as quais foram espaçadas por 0,50 m de largura entre si, e 10,0 centímetros o espaçamento das plantas dentro da fileira de plantio, constituindo, assim, uma densidade de plantio de 220.000 plantas por hectare. As duas fileiras laterais de cada parcela compuseram a bordadura, sendo apenas a fileira central avaliada. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente por sorteio, como mostra a ilustração acima (Figura 4).

### **3.5.1 Caracterização do solo, adubação, material experimental, semeadura e precipitação**

Para a implantação do experimento, foi realizada uma capina na área utilizada e, na sequência, a demarcação dos tratamentos; em seguida, com a ajuda de um trator e com a utilização de uma plantadeira, foram marcadas as linhas de plantio: 0,50 m entre linhas, das quais foram posteriormente abertos os sulcos para a deposição das doses de fertilizantes, que foram cobertos com uma fina camada de solo, evitando, assim, o contato com as sementes.

A condução do estudo iniciou-se com a semeadura do cártamo no dia 03 de março de 2022. A cultivar estudada foi a variedade CIPL – 04407. Suas sementes foram cedidas pela Embrapa Soja, localizada em Londrina-PR, apresentando vigor de aproximadamente 80%.

Alguns dias após o surgimento das plântulas de cártamo, foi realizada a retirada de plantas invasoras e, posteriormente, realizou-se o raleio para definir o número de plantas na linha, onde cada linha comportou 28 plantas.

O solo local foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférico típico. A análise das características químicas do solo na área de cultivo foi possível através de amostras coletadas um dia antes da semeadura (08/03/2022), em toda a área experimental, a uma profundidade de 0-20 cm, conforme descrito na Tabela 3.

A adubação foi realizada em cobertura aplicando-se as seguintes quantidades de N, P e K: 10, 15 e 15. Devido à falta de recomendação específica

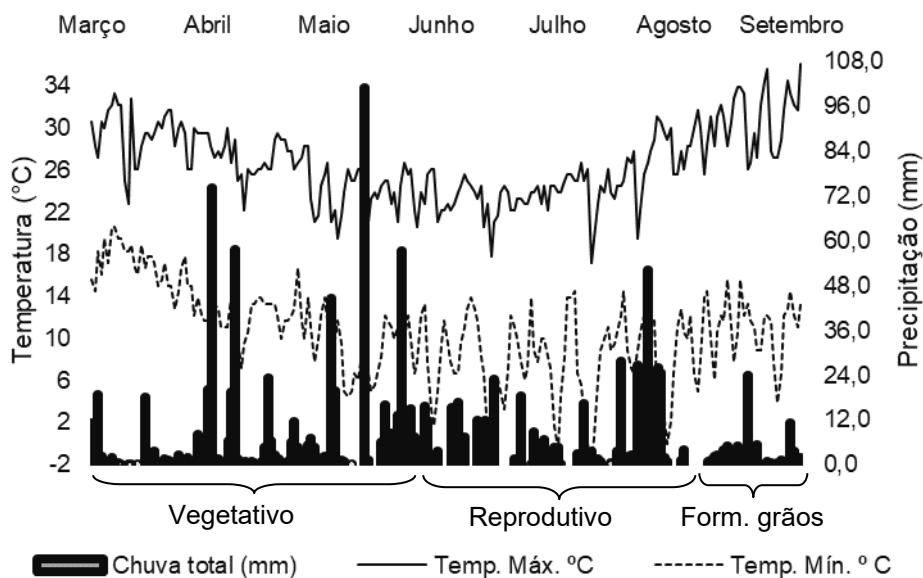
para a cultura no Brasil, seguiu-se a recomendação para a cultura do milho: 400 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 3** – Atributos químicos do solo da área experimental.

Elementos	cmolc dm <sup>-3</sup>
Cálcio (Ca)	4,57
Magnésio (Mg)	2,8
Potássio (K)	0,84
Alumínio (Al)	0
H + Alumínio (H + Al)	5,22
Soma de bases (SB)	8,21
CTC (T)	13,43
<hr/>	
Saturação por Bases (V%)	61,13 mg dm <sup>-3</sup>
<hr/>	
mg dm <sup>-3</sup>	
Fósforo (P)	19,42
pH CaCl <sub>2</sub>	5,48

Fonte: SOLANALISE, 2022.

Os parâmetros climáticos diários foram medidos em uma estação meteorológica localizada próxima à área experimental (estação Zucchetto), obtidos através dos dados climáticos diários sedidos pela WeatherLink (Figura 5).



**Figura 5.** Precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C) em diferentes estágios fenológicos do cártamo em 2022. V: Vegetativo; F: Florescimento; FG: Formação de grãos.

### 3.5.2 Irrigação

As irrigações foram realizadas através do sistema por gotejamento, sendo um gotejador por planta. Em cada canteiro estudado, a tubulação desse sistema de irrigação por gotejamento ficou paralela à linha que recebeu a irrigação. A etapa se deu através de amostragem de pontos em todas as 10 linhas de gotejadores. Para tanto, utilizou-se de beckers nos gotejadores do final de cada linha, que contabilizaram as vazões (ml) nesses pontos pelo tempo definido de 3 minutos, realizando, posteriormente, a conversão para litros por hora (l/h).

O modelo selecionado para o projeto de irrigação foi o Arduino UNO R3, que é uma placa de microcontrolador baseada no chip ATmega 380. Possui quatorze pinos de entrada ou saída digitais e seis entradas analógicas. O Uno R3 usa uma memória flash de 32 KB com 0,5 KB, usada para carregamento de inicialização, 2 KB de SRAM e 1 KB de EEPROM (memória pronta para uso programável apagável eletricamente).

No modo automático, a cada 24h, o sensor ultrassônico realizava a leitura da altura da lâmina do evaporímetro. Havendo diferença entre um dia e o outro, a válvula solenoide era aberta e, por gravidade, a água era conduzida até aos tubos gotejadores, que irrigavam as parcelas selecionadas. As irrigações eram realizadas sempre ao por do sol, pois, em outros horários do dia, as temperaturas mais altas fazem com que a água evapore rapidamente, antes mesmo que chegue com abundância na raiz e o organismo possa suprir toda sua demanda hídrica, sendo irrigada apenas a quantidade que havia evaporado do evaporímetro.

### **3.6 Variáveis Analisadas**

#### **3.6.1 Altura das plantas**

A altura das plantas foi determinada quando a cultura apresentou 50% de seu florescimento, medindo-se com fita métrica graduada a distância entre o nível do solo até ao ápice da planta (cm), isto é, de seis plantas, ao acaso, dentro de cada parcela.

#### **3.6.2 Diâmetro do caule**

Os dados referentes ao diâmetro do caule também foram obtidos a 50% do florescimento da cultura, coletando-se seis plantas ao acaso em cada parcela, com auxílio de um paquímetro digital, medindo-se a região basal do caule, sendo a medida fornecida em mm; com uma fita métrica graduada, verificou-se o comprimento do caule (cm).

#### **3.6.3 Massa fresca e seca da haste**

Para uma melhor determinação, esta avaliação foi realizada quando a cultura apresentava 50% de seu florescimento, coletando-se ao acaso seis plantas dentro da parcela e contando as ramificações a partir da haste principal da planta (ramificação primária). Em seguida, foram levadas à estufa com aeração contínua a 65 °C, por 72 horas, para verificação de massa fresca e seca.

#### **3.6.4 Número de capítulos**

Foram coletadas seis plantas por parcela, quando a cultura apresentou 50% de seu florescimento, contando o número total de capítulos em cada planta.

#### **3.6.5 Número e peso dos grãos**

A produtividade foi medida após a debulha manual e limpeza dos grãos. A massa foi determinada em balança de precisão com quatro casas decimais, com os valores expressos de kg/ha<sup>-1</sup>, corrigindo-se o grau de umidade para 12%.

#### **3.7 Análise estatística dos dados**

Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância, sendo as médias do fator irrigação comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2003).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Experimento em casa de vegetação

Os parâmetros altura das plantas e diâmetro do caule foram utilizados para compor os componentes morfológicos neste estudo. A ANOVA realizada para esses componentes mostrou que o cártamo foi significativamente afetado pelas disponibilidades de água em diferentes estágios fenológicos da cultura. O tratamento que recebeu irrigação em todos os estágios (T8) e o que recebeu irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo (T4) apresentaram médias superiores aos demais: 104,25 e 88,75 centímetros (Tabela 4). Joshan *et al.* (2019) indicam que o estresse hídrico, nos estágios de floração e enchimento de grãos, tem pouco efeito em parâmetros de crescimento, divergindo dos dados obtidos neste estudo no estágio reprodutivo.

No entanto, o tratamento que teve disponibilidade de água apenas em seu estágio vegetativo apresentou a menor média (58,50 cm), na altura de suas plantas. Bassegio *et al.* (2018) também evidenciaram quedas mais acentuadas nessa variável com manejo hídrico, em que o cártamo não recebeu irrigação no estágio vegetativo (V), o que resultou em redução do crescimento aéreo.

Os dados de diâmetro do caule mostraram uma tendência diferente da obtida pela altura das plantas, não demonstrando diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4). Neto *et al.* (2020), avaliando acessos de cártamo adaptáveis às condições de déficit hídrico e seu potencial para programas de melhoramento, observaram diferenças significativas, em que as variedades NOVO343, IMA340, NOVO338 e IMA211 destacaram-se com maior diâmetro de caule (9,43; 9,53; 10,54 e 8,88 mm, respectivamente), diferindo dos resultados encontrados neste estudo, em que o diâmetro do caule não demonstrou diferenças significativas, o que pode estar relacionado a diversos fatores, como variedade, clima, solo, adubação etc.

**Tabela 4** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes morfológicos do cártamo conduzido em casa de vegetação.

Fonte de variação	Componentes morfológicos	
	Altura das plantas (cm)	Diâmetro do caule (cm)
Vegetativo	58,50 a	5,45 a
Reprodutivo	82,25 ab	4,60 a
Formação de grãos	80,00 ab	5,62 a
Vegetativo e reprodutivo	88,75 ab	5,82 a
Vegetativo e formação de grãos	78,25 ab	6,20 a
Reprodutivo e formação de grãos	74,25 ab	6,07 a
Nenhum dos estágios	63,25 ab	5,02 a
Todos os estágios	104,25 b	6,20 a
CV (%)	23,5	18,88
F	<0,05**	0,34 <sup>ns</sup>

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

O rendimento de biomassa fresca e seca da haste das plantas foi, significativamente, afetado pelo estresse hídrico nos diferentes estágios fenológicos (Tabela 5). A disponibilidade de irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo (T4) aumentou, significativamente, a biomassa fresca, demonstrando a maior média (9,20g), mas diminuiu no tratamento que não recebeu nenhuma irrigação (T8), apresentando a menor média (2,69g). O tratamento que teve a irrigação suspensa após seu estágio vegetativo (T1) apresentou média inferior aos demais tratamentos (3,17 g) depois daquele que não recebeu nenhuma irrigação, o que provavelmente se deve, em parte, ao subdesenvolvimento de gemas devido à falta da mesma no estágio vegetativo. Joshi *et al.* (2021), analisando diferentes cultivares e a resistência à seca em diferentes estágios fenológicos, também observaram que a biomassa não foi perdida até o início do estresse hídrico em floração, evidenciando que a disponibilidade da irrigação no estágio vegetativo é de extrema importância para o aumento da biomassa.

Os dados obtidos através do teste Tukey a 5% de significância para a biomassa seca das plantas de cártamo, mostraram resultados semelhantes aos demonstrados anteriormente para biomassa fresca, em que o tratamento que recebeu irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo (T4) demonstrou a maior média (6,95 g) em sua biomassa seca, enquanto o tratamento oito (nenhuma irrigação) apresentou média inferior aos demais tratamentos (1,94 g) de biomassa seca. Engroff *et al.* (2020), trabalhando com a cultura do arroz, obtiveram resultados divergentes do presente estudo, pois a variável massa seca nas diferentes lâminas de irrigação, durante os estágios vegetativo e reprodutivo da cultura, não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, não influenciando na produção da biomassa seca.

**Tabela 5** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes da biomassa do cártamo conduzido em casa de vegetação.

Fonte de variação	Componentes da biomassa	
	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
Vegetativo	3,17 a	3,17 ab
Reprodutivo	5,80 ab	2,55 a
Formação de grãos	5,82 ab	3,82 ab
Vegetativo e reprodutivo	9,20 b	6,95 b
Vegetativo e formação de grãos	3,88 ab	2,63 a
Reprodutivo e formação de grãos	6,60 ab	4,82 ab
Nenhum dos estágios	2,69 a	1,94 a
Todos os estágios	6,54 a	3,54 ab
CV (%)	45,88	50,02
F	<0,05**	<0,05**

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

Os parâmetros número de capítulos, número de sementes e peso das sementes foram adquiridos para determinar o potencial produtivo das plantas de

cártamo sob deficiência hídrica em diferentes estágios fenológicos. O número de capítulos apresentou diferenças significativas entre os tratamentos analisados, apontando que o tratamento no qual recebeu irrigação apenas em seu estágio reprodutivo demonstrou a maior média (5,00), quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 6), mostrando que a irrigação, apenas em um estágio e de maneira correta, pode aumentar o número de capítulos. Diferindo do presente estudo, Baseri *et al.* (2022), trabalhando com épocas de semeadura e regimes de irrigação aplicados em estágios fenológicos de crescimento do cártamo, evidenciaram melhores resultados para o número de capítulos nos tratamentos de irrigação suplementar: no I4 (irrigação em todos os estágios), seguido dos tratamentos de irrigação I3 (irrigação no vegetativo, florescimento e formação de grãos) e I2 (vegetativo e florescimento), o que pode estar relacionado à disponibilidade de irrigação em um período maior de tempo.

Conforme os dados coletados, pode-se verificar que a cultura do cártamo apresentou resultados negativos para quatro dos oito tratamentos, ou seja, não houve produção de sementes nos tratamentos que receberam água apenas nos estágios vegetativo (T1), vegetativo e formação de grãos (T5), reprodutivo e formação de grãos (T6) e para aquele que não recebeu nenhuma irrigação (T7). Já o tratamento que apresentou a maior média no número de sementes foi o tratamento quatro, o qual recebeu irrigação em seus estágios vegetativo e reprodutivo, apresentando uma média de 99 sementes para esse tratamento (Tabela 6).

Quando analisado o peso das sementes das plantas de cártamo, percebeu-se que os resultados foram os mesmos que o número de sementes, podendo ser evidenciado que a improdutividade das plantas resultou em pesos com médias zero, apresentando produtividade em apenas quatro tratamentos. Dentre eles, o tratamento, cuja maior média foi de 4,39 g, teve água disponível em seus estágios vegetativo e reprodutivo (T4), conforme apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6.** Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes de produtividade do cártamo conduzido em casa de vegetação.

Fonte de variação	Componentes de produtividade		
	Nº Capítulos	Nº Sementes	Peso das sementes (g)
Vegetativo	0,75 a	0,00 a	0,00 a
Reprodutivo	5,00 b	50,50 ab	2,77 ab
Formação de grãos	1,00 a	2,00 a	0,05 a
Vegetativo e reprodutivo	3,25 ab	99,00 b	4,39 b
Vegetativo e formação de grãos	1,00 a	0,00 a	0,00 a
Reprodutivo e formação de grãos	3,00 ab	0,00 a	0,00 a
Nenhum dos estágios	1,75 ab	0,00 a	0,00 a
Todos os estágios	3,50 ab	24,50 a	0,84 a
CV (%)	65,3	114,35	128,11
F	<0,05**	<0,05**	<0,05**

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

Em concordância com os resultados obtidos neste estudo, Santos *et al.* (2018), analisando a produtividade e a água irrigada, observaram que os tratamentos que receberam irrigação nos estágios vegetativo e vegetativo e formação de grãos foram os que menos responderam à aplicação de volume de água, pois, nesses estágios, ocorreram pequenos aumentos no rendimento de grãos.

#### 4.2 Experimento em campo

Características morfológicas, como altura da planta e diâmetro do caule, foram usadas para representar os componentes morfológicos das plantas. As irrigações disponibilizadas nos diferentes estágios fenológicos afetaram significativamente o crescimento das plantas, conforme mostrado na Tabela 7.

Quando analisados através da irrigação em cada estágio fenológico, a altura da planta e o diâmetro do caule apresentaram decréscimo significativo para o tratamento que não recebeu irrigação em nenhum de seus estágios, demonstrando a menor média em relação aos demais tratamentos. Isso se deve ao estresse causado pela deficiência hídrica, um sério fator limitante do crescimento e desenvolvimento dos vegetais, uma vez que resulta em efeitos adversos em muitos atributos das plantas, como morfologia, nutrição e produção (ANICÉSIO *et al.*, 2018).

A análise entre as diferentes disponibilidades de irrigação mostrou que os tratamentos T4 (vegetativo e reprodutivo) e T5 (vegetativo e formação de grãos) tinham diâmetro do caule e altura da planta significativamente maiores do que os demais tratamentos, evidenciando que a indisponibilidade de água nesses estágios pode acarretar em danos para a cultura. O estudo de Jhosi (2021), em contrapartida, indicou que o estresse hídrico, nos estágios críticos de floração e enchimento de grãos, tem pouco efeito sobre parâmetros de crescimento.

Santos *et al.* (2018), ao suspenderem a irrigação no estágio vegetativo, evidenciaram quedas mais acentuadas nessas variáveis nos tratamentos com manejo hídrico em que o cártamo não recebeu irrigação no estágio vegetativo (T1), o que resultou em redução do crescimento aéreo. A junção da irrigação no estágio vegetativo com os estágios reprodutivos ou formação de grãos pode ter favorecido os componentes morfológicos.

**Tabela 7** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes morfológicos do cártamo conduzido em campo.

Tratamentos	Componentes morfológicos	
	Altura das plantas (cm)	Diâmetro do caule (cm)
Vegetativo	1,25 ab	8,00 ab
Reprodutivo	1,26 ab	9,33 ab
Formação de grãos	1,35 bc	10,33 ab
Vegetativo e reprodutivo	1,62 e	10,66 b
Vegetativo e formação de grãos	1,53 de	10,66 b
Reprodutivo e formação de grãos	1,48 d	9,50 ab
Nenhum dos estágios	1,38 c	8,66 ab
Todos os estágios	1,23 a	7,00 a
CV (%)	4,4	19,61
F	< 0,05**	< 0,05**

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

As biomassas vegetal fresca e seca total foram determinadas para avaliar os efeitos de diferentes irrigações no crescimento da planta, e os resultados são apresentados na Tabela 8. A análise entre os tratamentos da biomassa vegetal fresca (BVF) e biomassa vegetal seca (BVS) aponta para diferenças significativas ( $F < 0,05$ ) entre os tratamentos. O tratamento que recebeu irrigação apenas no estágio vegetativo demonstrou uma maior suscetibilidade a falta de água, demonstrando medidas menores que os demais tratamentos. No estudo de Santos *et al.* (2018), os autores encontraram resultados semelhantes, os quais evidenciaram que a massa fresca e a massa seca do caule foram mais sensíveis ao déficit hídrico no período vegetativo.

**Tabela 8** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes da biomassa do cártamo conduzido em campo.

Tratamentos	Componentes da biomassa	
	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
Vegetativo	27,53 a	16,17 a
Reprodutivo	38,83 a	20,16 a
Formação de grãos	36,36 a	21,65 a
Vegetativo e reprodutivo	52,24 a	30,23 a
Vegetativo e formação de grãos	53,9 a	29,94 a
Reprodutivo e formação de grãos	48,36 a	27,16 a
Nenhum dos estágios	36,7 a	21,87 a
Todos os estágios	44,85 a	26,33 a
CV (%)	34,45	32,2
F	< 0,05**	<0,05**

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | \*\*Significativo a 5% de probabilidade | ns não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

Conforme mostrado na Tabela 9, levando em consideração os parâmetros de produtividade (número e peso de sementes), o cártamo apresentou melhores resultados para os tratamentos irrigados nos estágios vegetativo e reprodutivo/formação de grãos (T4 e T5). Assim como em nosso estudo, Parameshnai *et al.* (2022), evidenciaram que a disponibilidade de irrigação nos estágios de roseta + início da floração + desenvolvimento da semente apresentou produtividade de sementes significativamente maior em relação aos outros tratamentos.

Da mesma forma, quando analisado o peso das sementes, o rendimento do cártamo demonstrou os mesmos resultados encontrados no número de sementes, sendo que os tratamentos que apresentaram um maior número de suas sementes aumentaram também os pesos das sementes, atingindo valores máximos nos tratamentos T4 e T5 ( $p < 0,05$ ). Corroborando com nosso estudo, Santos *et al.* (2018) observaram diferença de 37% entre a massa de mil grãos de cártamo irrigado apenas no período vegetativo (2,81 g) e o manejo da água com irrigação na floração



e enchimento de grãos (3,85 g), destacando a importância da irrigação para o enchimento de grãos.

No entanto, para o parâmetro número de capítulos, não se observou diferenças significativas entre os tratamentos. Os danos causados pela deficiência hídrica dependem da frequência, duração e intensidade da exposição da planta ao fator estressante. Assim, para o estudo em questão, o tempo de exposição dependeu da duração de cada estágio (SANTANIELLO *et al.*, 2017; VAN OOSTEN *et al.*, 2017).

**Tabela 9** – Efeito do estresse hídrico em diferentes estágios fenológicos nos componentes de produtividade do cártamo conduzido em campo.

Tratamentos	Componentes de produtividade		
	Nº Capítulos	Nº Sementes	Peso das sementes (g)
Vegetativo	6,00 a	64,16 a	3,33 a
Reprodutivo	7,83 a	82,66 ab	4,21 ab
Formação de grãos	9,66 a	91,33 ab	4,84 ab
Vegetativo e reprodutivo	14,83 a	271,33 c	13,83 c
Vegetativo e formação de grãos	13,33 a	273,00 c	13,92 c
Reprodutivo e formação de grãos	9,50 a	86,83 ab	4,42 ab
Nenhum dos estágios	7,50 a	70,50 a	3,66 a
Todos os estágios	11,50 a	232,66 bc	12,33bc
CV (%)	51,15	59,39	58,9
F	0,06 <sup>ns</sup>	< 0,05 <sup>**</sup>	< 0,05 <sup>**</sup>

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância | <sup>\*\*</sup>Significativo a 5% de probabilidade | <sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F (comparação de médias).

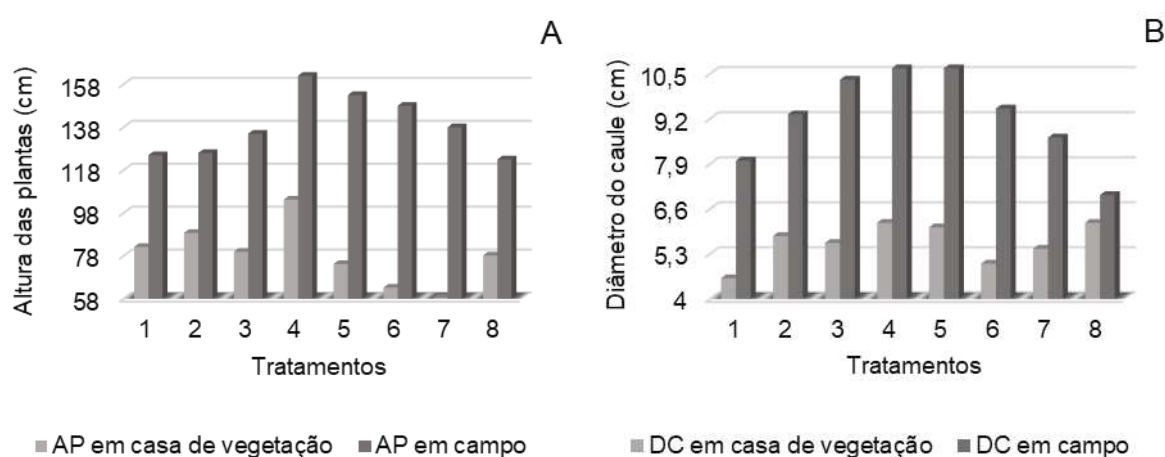
### 4.3 Comparação de dados entre os experimentos

Os gráficos abaixo trazem uma comparação entre o experimento realizado em casa de vegetação e o realizado no campo para os parâmetros dos componentes morfológicos (Figura 6), em que podemos observar que, para altura de

plantas, o tratamento que recebeu irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo (T4) apresentou as maiores médias em ambos os experimentos.

Para o parâmetro diâmetro do caule, o tratamento cinco (vegetativo e reprodutivo) também apresentou a maior média no experimento em campo enquanto que em casa de vegetação o experimento que recebeu irrigação em todos os estágios demonstrou uma maior altura das plantas de cártamo, demonstrando que a irrigação disponível em todo seu ciclo auxilia no desenvolvimento das plantas de cártamo.

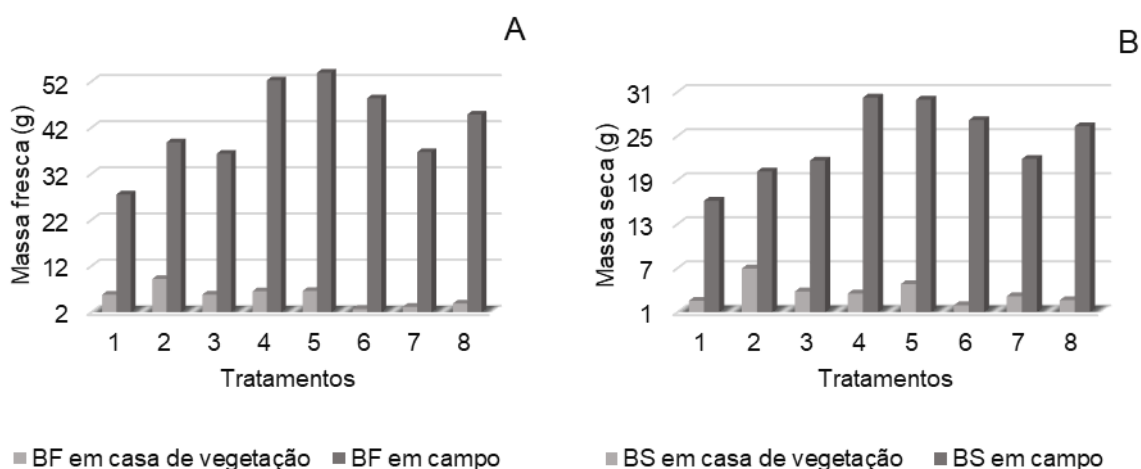
O déficit hídrico pode afetar diferentemente as plantas durante os crescimentos vegetativo e reprodutivo. Quando as células vegetais ficam submetidas ao déficit hídrico, ocorre desidratação celular. O déficit hídrico também induz à acumulação de ácido abscísico (ABA), que promove o fechamento estomático, reduzindo as trocas gasosas e inibindo a fotossíntese. Como consequência do desacoplamento dos fotossistemas induzido pela desidratação, os elétrons livres, produzidos pelos centros de reação, não são transferidos para NADP +, levando à geração de espécies reativas de oxigênio (EROs). As EROs em excesso danificam o DNA, inibem a síntese de proteínas, oxidam os pigmentos fotossintéticos e causam a peroxidação de lipídeos de membrana (TAIZ *et al.*, 2017).



**Figura 6.** Comparação das médias entre os blocos para o parâmetro altura de plantas (A) e médias obtidas para o parâmetro diâmetro do caule (B). T1: Vegetativo; T2: Reprodutivo; T3: Formação de grãos; T4: Vegetativo e Reprodutivo; T5: Vegetativo e Formação de grãos; T6: Reprodutivo e Formação de grãos; T7: Nenhum dos estágios; T8: Todos os estágios.

Na comparação das médias entre os tratamentos para biomassa seca e fresca (Figura 7), o estágio que se mostrou mais suscetível ao déficit hídrico em casa de vegetação foi o tratamento cuja irrigação foi disponibilizada apenas nos estágios reprodutivo e formação de grãos (T6), em que o mesmo obteve médias inferiores aos demais tratamentos, enquanto que em campo a menor média foi evidenciada no tratamento um e oito, sendo que os mesmos receberam irrigação nos estágios vegetativos e em todos os estágios.

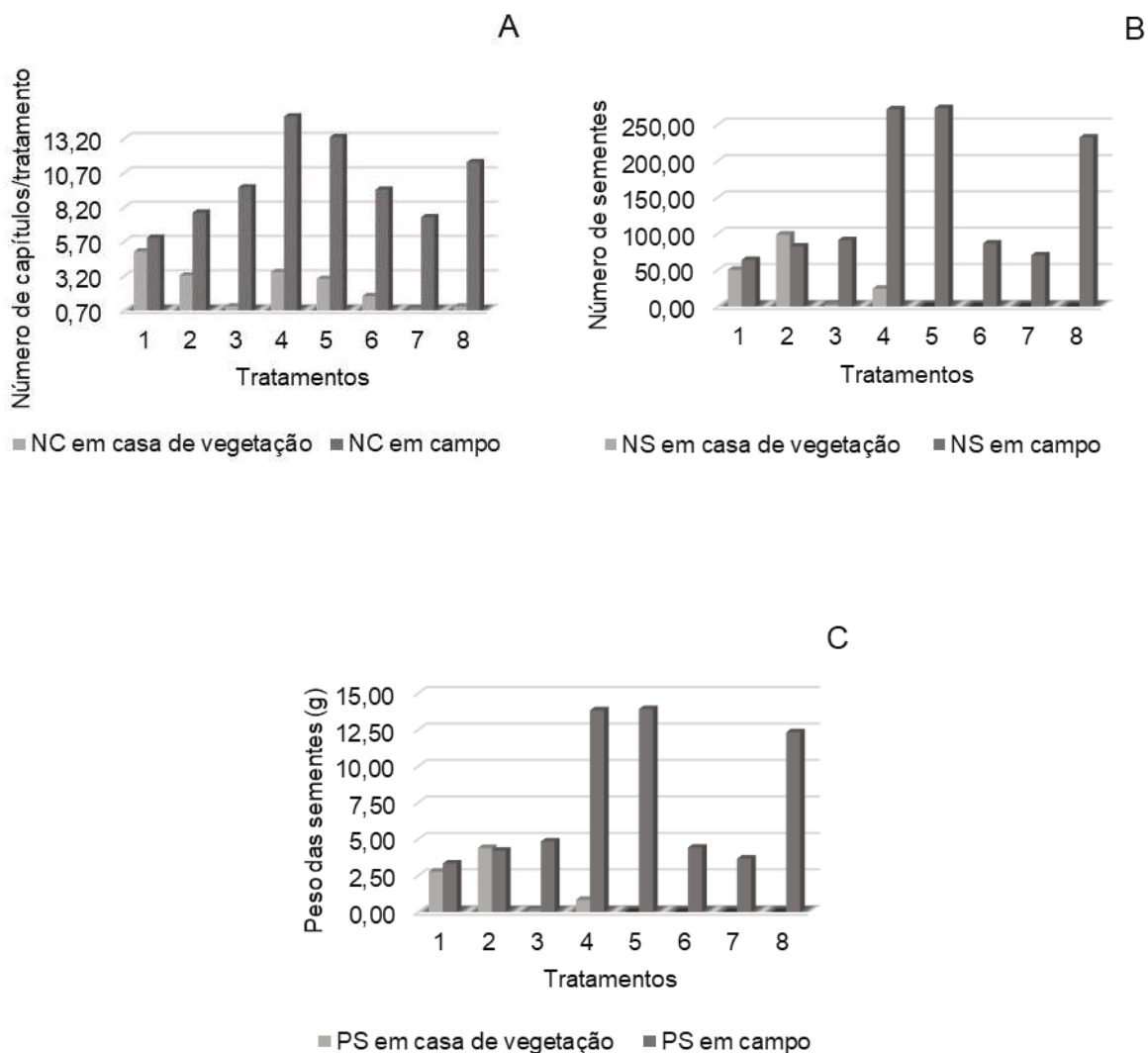
A cultura demonstrou-se suscetível ao déficit hídrico, apresentando redução na biomassa, principalmente, nos estágios vegetativo e reprodutivo. De acordo com Taiz *et al.* (2017), a resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico consiste no decréscimo da produção da área foliar, no fechamento dos estômatos, na aceleração da senescência e da abscisão das folhas, culminando na redução de produção.



**Figura 7.** Comparação das médias entre os blocos para o parâmetro massa fresca (A) e médias obtidas para o parâmetro massa seca (B). T1: Vegetativo; T2: Reprodutivo; T3: Formação de grãos; T4: Vegetativo e Reprodutivo; T5: Vegetativo e Formação de grãos; T6: Reprodutivo e Formação de grãos; T7: Nenhum dos estágios; T8: Todos os estágios.

Por último, para os parâmetros de produtividade (Figura 8), o tratamento que se mostrou mais suscetível à falta de água no estudo de campo foi o tratamento que teve disponibilidade da mesma apenas em seu estágio vegetativo, com médias inferiores aos demais tratamentos analisados.

Já no experimento em casa de vegetação, os tratamentos três (formação de grãos), seis (reprodutivo e formação de grãos) e sete (nenhum dos estágios) se mostraram altamente dependentes da disponibilidade de água, tornando improdutivos na falta da mesma.



**Figura 8.** Comparação das médias entre os blocos para os parâmetros número de capítulos (A), número de sementes (B) e peso das sementes (C). T1: Vegetativo; T2: Reprodutivo; T3: Formação de grãos; T4: Vegetativo e Reprodutivo; T5: Vegetativo e Formação de grãos; T6: Reprodutivo e Formação de grãos; T7: Nenhum dos estágios; T8: Todos os estágios.

Silva (2021), avaliando o estresse hídrico nos diferentes estágios fenológicos do feijão-fava, observou que a cultura foi mais sensível ao estresse hídrico na fase

reprodutiva, na qual há um aporte maior de água, corroborando com o presente estudo em estufa, pois os tratamentos que receberam irrigação no estágio reprodutivo apresentaram uma maior produtividade.

O déficit hídrico controlado (50% da ETo) aplicado, principalmente, nas fases de floração e enchimento de grãos na cultura da soja, ocasionou diminuições drásticas nos componentes produtivos (número de vagens por planta, número de grãos por planta e potencial produtivo total) (BARBOSA *et al.*, 2020). Gava *et al.* (2016) também chegaram a essa conclusão, afirmando que a produtividade é afetada pela ocorrência de déficit hídrico no 31º período fenológico que compreende entre a completa formação de vagens e a formação de grãos. Esses achados corroboram com nossos resultados obtidos em campo, afirmando uma maior demanda hídrica da cultura do cártamo nos estágios vegetativos e formação de grãos, para um aumento na produtividade.

## 5. CONCLUSÃO

A cultura do cártamo é beneficiada pela irrigação no período vegetativo em conjunto com a irrigação no estágio reprodutivo ou formação de grãos, mostrando-se suscetível ao déficit hídrico em seu período vegetativo. Esses resultados foram encontrados em todos os parâmetros avaliados em ambos os estudos.

Em relação aos componentes morfológicos das plantas de cártamo, foi possível concluir que a escassez hídrica, devido à restrição de irrigação durante as fases reprodutiva e formação de grãos, mostrou uma redução na altura das plantas e no diâmetro do caule das mesmas.

A disponibilidade de água, apenas no T1 (vegetativo) e no T2 (reprodutivo), resultou em um decréscimo nas médias dos componentes da biomassa fresca e seca da cultura.

Os componentes de produtividade do cártamo (número de capítulos, número de sementes e peso de sementes) foram favorecidos, quando suas plantas receberam irrigação nos estágios vegetativo e reprodutivo e vegetativo e formação de grãos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL, G. H. (1975). Growth and yield of safflower in three temperature regimes. **Agronomy Journal**, 67 (5), 639-642.
- ABUD, H.; GONÇALVES, N.; REIS, R.; GALLAO, M.; INNECCO, R. (2010). Morphology of seed and seedling of safflower. **Revista Ciencia Agronomica**, 41 (2): 259-265.
- AKGUN, M.; SÖYLEMEZ, E. (2022). Determining the Future Trends of Safflower Plant in Türkiye. **International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**. 6, 50-57. 10.31015/jaefs.2022.1.8.
- ACEVEDO, M.; PIXLEY, K.; ZINYENGERE, N.; MENG, S.; TUFAN, H.; CICHY, K.; BIZIKOVA, L.; ISAACS, K.; GHEZZI-KOPEL, K.; PORCIELLO, J. A. (2020). Scoping Review of Adoption of Climate-Resilient Crops by Small-Scale Producers in Low- and Middle-Income Countries. **Natural Plants**, 6, 1231–1241.
- AHIR, K.; GOVANI, K.; GAJERA, R.; SHAH, M. (2020). Application on virtual reality for enhanced education learning, military training and sports. **Augmented Human Research**, 5, (7).
- AJJUR, S. B.; AL-GHAMDI, S. G. (2021). Evapotranspiration and response of water availability to climate change in the Middle East and North Africa. **Climate Change**, 166, 28. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03122-z>
- AKGUN, M., SOYLEMEZ, E. (2022). Determining the Future Trends of Safflower Plant in Türkiye. **International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**, 6 (1), 50-57.
- ALAMGIR, M.; KHAN, N.; SHAHID, S. (2020). Evaluating severity–area–frequency (SAF) of seasonal droughts in Bangladesh under climate change scenarios. **Stoch Environ Res Risk Assess**, 1–18.
- ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). **Papel de irrigação e drenagem da FAO**. (56): 26–40. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação.
- ALTOBELLI, F.; MEYBECK, A.; GITZ, V. Accounting for water use in agriculture. In **Knowledge and Information for Sustainable Food Systems**; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2014.
- AMBROSANO, L. **Avaliação de oleaginosas potencias para cultivo de safrinha**. (2012). 82f. Dissertação (Mestrado de Agronomia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012.

ANICÉSIO, E. C. A. D.; BONFIM - SILVA, E. D. N. A.; SILVA, T. J. A. D.; PACHECO, A. B. (2018). Nitrogênio e potássio em cártamo: índice de clorofila, características biométricas e uso da água. **Revista Caatinga**, 31 (2), 424 -433.

ARIKAN, B.B.; JIECHEN, L.; SABBAH, I.I.D. (2021). Dew Point Time Series Forecasting at the North Dakota. **Knowledge-Based Eng. Sci.**, 2:24–34

BAGHERI, H.; SAM-DALIRI, M. (2011). Effect of water stress on agronomic traits of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 5 (12), 2621 - 2624.

BANZI, M.; SHILOH, M. (2022). Getting Started With Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform. 4th. ed. rev. **Estados Unidos da America: Dale Dougherty**. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qChfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Projects+that+use+platform+Arduino+in+mechanized+irrigation+system+2022&ots=I-pPx17i4g&sig=xXiJMMBEUBovhRqEiyYvpD\\_j7Mw#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qChfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Projects+that+use+platform+Arduino+in+mechanized+irrigation+system+2022&ots=I-pPx17i4g&sig=xXiJMMBEUBovhRqEiyYvpD_j7Mw#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 7 jul. 2022.

BARBIERI, J. D.; FREITAS, P. S. L. D.; DALLACORT, R.; REZENDE, R.; SILVA, A. L. B. R.; FENNER, W.; CARVALHO, M. A. C. (2020). Influence of Soil Coverage on Evapotranspiration and Dual Crop Coefficients on Soybean. **Journal of Experimental Agriculture International**. doi:10.9734/jeai/2020/v42i630546.

BARBOSA, J. R.; FILHO, J. V. P.; OLIVEIRA, V. M. de; SOUSA, G. G. de; GOES, G. F.; LEITE, K. N. (2020). Produtividade da Cultura da Soja Irrigada com Déficit Hídrico Regulado no Cerrado Piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 14 (4): 4200 – 4210.

BARZKAR, A.; SHAHABI, S.; NIAZMRADI, S (2021). A comparative study of remote sensing and gene expression programming to estimate evapotranspiration in four different climates. **Stoch Environ Res Risk Assessment** 35, 1437–1452. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01956-0>

BARRETO, A. N.; BEZERRA, J. R C.; SILVA, A. A. G. (2003). Cálculo da necessidade hídrica do algodoeiro com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e no coeficiente da cultura (k<sub>c</sub>) para Barreiras – BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 4., Goiânia, GO. **Anais**. Goiânia: Embrapa Algodão. CD-ROM, 2003.

BASERI, G. S.; HONAR, T.; HEIDARI, B.; SALAMI, M.; RICHARDS, C. M. (2022). Oil and seed yields affected by sowing dates and irrigation regimes applied in growth phenological stages of safflower. **Crop Science**, 62(5), 1967-1980.

BASSEGIO, D.; SARTO, M. V. M.; ROSOLEM, C. A.; SARTO, J. R. W. (2018). Guar root and shoot growth as affected by soil compaction. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 48 (2): 163-169.



BASTOS, A.; CIAIS, P.; FRIEDLINGSTEIN, P.; SITCH, S.; PONGRITZ, J.; FÃ, L.; WIGNERON, J.; WEBER, U.; REICHSTEIN, M.; FU, Z. (2020). Efeitos legados diretos e sazonais da onda de calor e da seca de 2018 na produtividade do ecossistema Europeu. **Sci.Av.**, 6.

BAVOUGIAN, C. M.; READ, P. E. (2018). Mulch and groundcover effects on soil temperature and moisture, surface reflectance, grapevine water potential, and vineyard weed management. **Peer Journal**, 6, e5082.

BELLÉ, R.; ROCHA, E.; BACKES, F.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N. (2012). Safflower grown in different sowing dates and plant densities. **Ciência Rural**. 42 (12): 2145-2152. Doi:10.1590/S0103-84782012005000106.

BERGLUND, D. R.; RIVELAND, N.; BERGMAN, J. **Safflower production**. 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10365/9154>>. Acesso em: 2 jul. 2022.

BIDGOLY, R.O.; BALOUCHI, H.; SOLTANI, E.; MORDI, A. (2018). Effect of temperature and water potential on *Carthamus tinctorius* L. seed germination: Quantification of the cardinal temperatures and modeling using hydrothermal time. **Industrial Crops and Products**, 113, 121-127.

BIGAH, Y.; ROUSSEAU, A.N.; GUMIERE, S.J. (2019). Development of a steady-state model to predict daily water table depth and root zone soil matric potential of a cranberry field with a subirrigation system. **Agric. Water Manag**, 213, 1016–1027.

BRITANNICA, A. (2019). **Safflower**. Recuperado de: <https://academicebbritannica.ez87.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/safflower/64715>.

BURT, C. M.; MUTZIGER, A. J.; ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A. (2005). Evaporation research: Review and interpretation. **Journal of irrigation and drainage engineering**, 131 (1): 37.

CÁCERES, G.; MILLÁN, P.; PEREIRA, M.; LOZANO, D. (2021). Smart farm irrigation: Model predictive control for economic optimal irrigation in agriculture. **Agronomy**, 11, 1810.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. (2013). Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia biosfera: Centro Científico Conhecer, Goiânia**. 9 (17): 969. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br>. Acesso em: 21 jul. 2022.

CELICOURT, P.; ROUSSEAU, A.N.; GUMIERE, S.J.; CAMPORESE, M. (2013). Hydro-informatics for sustainable water management in agrosystems. **Front. Water**, 3, 119.

CHAKRADHARI, S.; PERKONS, I.; MIŠINA, I.; SIPENIECE, E.; RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; GRYGIER, A.; GÓRNAŚ, P. (2020). Profiling of the bioactive components of safflower seeds and seed oil: Cultivated (*Carthamus tinctorius* L.) vs.

wild (*Carthamus oxyacantha* M. Bieb.). **European Food Research and Technology**, v. 246, n. 3, p. 449-459.

COMAS, L.; TROUT, T.; DEJONGE, K.; ZHANG, H.; GLEASON, S.M. (2019). Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. **Agric Water Manage** 212: 433– 440.

CORONADO, L. M. **El cultivo del cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en México**. Ciudad Obregon: SGI, 2010.

DANIEL, A.; SEGOVIA-CARDOZO, L.; RODRÍGUEZ-SINOBAS, S. Z. (2019). Water use efficiency of corn among the irrigation districts across the Duero river basin (Spain): Estimation of local crop coefficients by satellite images, **Agricultural Water Management**, 212, 241-251.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. (1977). **Necessidades de água da cultura**. Papel de Irrigação e Drenagem da FAO No. 24.

DOTANIYA, M. L., DOTANIYA, C. K., SANWAL, R. C., MEENA, H. M. (2018). **CO<sub>2</sub> sequestration and transformation potential of agricultural system**. In Martínez L, Kharissova O, Kharisov B (Eds.) Handbook of Ecomaterials. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1\\_87-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_87-1).

DOĞAN, L. (2021). **Determination of yield components yield and oil ratio of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Sanliurfa ecological conditions**. Master Thesis, Harran University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Field Crops, Sanliurfa, Turkey.

DUBEY J, SINGH A. (2019). Green synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles using extracts of pomegranate peels for pharmaceutical application. Int **Journal Pharm Phytopharmacol**, 9 (1): 85–87.

ELIADES, M.; BRUGGEMAN, A.; DJUMA, H.; CHRISTOFI, C.; KUELLS, C. (2022). Quantifying Evapotranspiration and Drainage Losses in a Semi-Arid Nectarine (*Prunus persica* L.). Field with a Dynamic Crop Coefficient (Kc) Derived from Leaf Area Index Measurements. **Water**, 14, 734.

EMBRAPA. **Água na agricultura**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura/perguntas-e-respostas>. Acesso: em 03 jan.2022.

ENGROFF, R. D.; FILHO, V. M. F.; COSTA, D. R.; SCHIMIDT, F. D.; ALBERTO, C. M.; RAMÃO, C. J. (2020). Produção de massa seca no período reprodutivo da cultura do arroz em diferentes lâminas de irrigação por aspersão. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 12 (2): 4 dez. 2020.

ENTEZARI, A.; WANG, R.; ZHAO, S.; MAHDINIA, E.; WANG, J.; TU, Y.; HUANG, D. (2019). Sustainable agriculture for water-stressed regions by air-water-energy management. **Energy**, 181, 1121–1128.

EWAID, S.H.; ABED S.A.; AL-ANSARI N. (2019). Crop water requirements and irrigation schedules for some major crops in Southern Iraq. **Water** 11:756 DOI 10.3390/w11040756.

**FAO, Food and Agriculture organization of Uniter Nation**, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Acesso em: 18 de março de 2023.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. **Crops: Safflower**. 2017. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em: 20 jan. 2022.

FAN, J.; MA, X.; WU, L.; ZHANG, F.; YU, X.; ZENG, W. (2019). Light Gradient Boosting Machine: An efficient soft computing model for estimating daily reference evapotranspiration with local and external meteorological data, **Agricultural Water Management**, 225, 105758, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105758>.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45., 2003, São Carlos. **Anais...** UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p. 255 – 258.

FLEMMER, A.C.; FRANCHINI, M.C.; LINDSTRÖM L.I. (2015). Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *An. of App. Biol.*, 166 (1): 331-339. doi: 10.1111/aab.12186

FOWLER, K.; KNOBEN, W.; PEEL, M.; PETERSON, T.; RYU, D.; SAFT, M.; SEO, K.; WESTERN, A. (2020). Many Commonly Used Rainfall-Runoff Models Lack Long, Slow Dynamics: Implications for Runoff Projections. *Water Resources Research*, 56 (5): 1-27.

GALANT, N. B; SANTOS, R. F; SILVA, M. A. MELHORAMENTO DE CÁRTAMO (*CARTHAMUS TINCTORIUS* L.). **Acta Iguazu**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 14–25, 2000. DOI: 10.48075/acta\_iguazu.v4i1.12418. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12418>. Acesso em: 25 mar. 2023.

GANDHI, M.; KAMDAR, J.; SHAH, M. (2020). Preprocessing of non-symmetrical images for Edge detection. **Augmented Human Research**, 5: (10).

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; ALMEIDA, B. M. de; FREITAS, P. S. L. de; REZENDE, R. (2016) Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, 10 (3): 305-315.

GHAZI, B.; JEIHOUNI, E.; KOUZEHGAR, K; Torabi, A.T. (2021). Assessment of probable groundwater changes under representative concentration pathway (RCP) scenarios through the wavelet–GEP model. **Environmental Earth Sciences**, 80.

- GLAROUDIS, D.; IOSSIFIDES, A.; CHATZIMISIOS, P. (2020). Survey, comparison and research challenges of IoT application protocols for smart farming. **Computer Networks**, 168, 107037.
- GOAP, A.; SHARMA, D.; SHUKLA, A.K.; RAMA KRISHNA, C. (2018). An IoT based smart irrigation management system using machine learning and open source technologies. **Comput. Electron. Agric**, 155, 41–49.
- GU, Z.; QI, Z.; BURGHATE, R.; YUAN, S.; JIAO, X.; XU, J. (2020). Irrigation scheduling approaches and applications: **A review. J. Irrig. Drain. Eng.**, 146, 04020007.
- HAMED, M.M.; NASHWAN, M.S.; SHAHID, S. (2021). A novel selection method of CMIP6 GCMs for robust climate projection. **International Journal of Climatology**. 42, 4258-4272. 10.1002/joc.7461.
- HAMED, M.M.; NASHWAN, M.S.; SHAHID, S. (2022). Comparison between CMIP5 and CMIP6 Models over MENA Region Using Historical Simulations and Future Projections. **Sustainability**, 14, 10375. <https://doi.org/10.3390/su141610375>
- HANSON, B.R.; MAY, D.M. (2006). Coeficientes de cultivo para processamento de tomate irrigado por gotejamento. **Gestão de Água Agrícola**, 81 (3): 381-399. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.007>
- HAO, P.; DI, L.; GUO, L. (2021). Estimation of crop evapotranspiration from MODIS data by combining random forest and trapezoidal models. **Agric. Water Manag.**, 259, 107249.
- HARGREAVES, G. H.; ALLEN R. G. (2003). History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. **J. Irrig. Drain. Engin.**, 129(1): 53-63.
- HINA, S.; SALEEM, F. (2019). Historical analysis (1981-2017) of the severity and magnitude of drought in a predominantly arid region of Pakistan. **Clim. Res.**, 78, 189-204.
- HOMSI, R.; SHIRU, M.S.; SHAHID, S. (2020) Precipitation projection using a CMIP5 GCM ensemble model: a regional investigation of Syria. **Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.**, 14:90–106.
- HOSSEINI, T.S.M.; HOSSEINI, S.A.; GHERMEZCHESHMEH, B.; SHARAFATI, A. (2020) Drought hazard depending on elevation and precipitation in Lorestan. **Iran Theor Appl Climatol**, 142:1369–1377.
- HUFNAGEL, J.; RECKLING, M.; EWERT, F. Diverse Approaches to Crop Diversification in Agricultural Research. A Review. **Agron. Sustain. Dev.** 2020, 40, 14.
- IRMAK, S. (2008). evapotranspiration. In SE Jørgensen & BD Fath (Eds.), *Encyclopedia of ecology* (pp. 1432–1438). University of Nebraska-Lincoln.

Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement, **Agricultural Water Management**, 208, 7-18, ISSN 0378-3774.

JAAFAR, H.; KHARROUBI, S.A. (2021). Views, practices and knowledge of farmers regarding smart irrigation apps: A national cross-sectional study in Lebanon. **Agric. Water Manag.**, 248, 106759.

JEIHOUNI, E.; ESLAMIAN, S.; MOHAMMADI, M.; ZAREIAN, M.J (2019). Simulation of groundwater level fluctuations in response to main climate parameters using a wavelet–ANN hybrid technique for the Shabestar plain, Iran. **Environ Earth Sci** 78(10):1–9.

JHA, K.; DOSHI, A.; PATEL, P. (2018). Intelligent irrigation system using artificial intelligence and machine learning: A comprehensive review. **Int. J. Adv. Res.**, 6, 1493–1502.

JOSHAN, Y.; SANI, B.; JABBARI, H.; MOZAFARI, H.; MOAVENI, P. (2019). Effect of drought stress on oil content and fatty acids composition of some safflower genotypes. **Plant, Soil and Environment.**, 65 (11): 563 - 7.

JOSHI, S.; THODAY-KENNEDY, E.; DAETWYLER, H.D.; HAYDEN, M.; SPANGENBERG, G.; KANT, S. (2021). High-throughput phenotyping to dissect genotypic differences in safflower for drought tolerance. **PLoS ONE** 16 (7): e0254908. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254908>.

KADIRVEL, P.; VEERRAJU, C.; SENTHILVEL, S.; YADAV, P.; USHA KIRAN, B.; SHAW, R.; SELVARAJ, V. M.; REDDY, Y.R.; MOHANRAO, M. D.; MUKTA, N. (2020). Markerassisted selection for fast-track breeding of high oleic lines in safflower (*Carthamus tinctorious* L.). **Industrial Crops and Products**, 158, 112 - 983. DOI:10.1016/j.indcrop.2020.112983.

KAMIENSKI, C.; SOININEN, J. P.; TAUMBERGER, M.; DANTAS, R.; TOSCANO, A.; SALMON-CINOTTI, T.; TORRE NETO, A. (2019). Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. **Sensors**, 19(2), 276.

KESHTEGAR, B.; ABDULLAH, S. S.; HUANG, Y. F.; SAGGI, M. K.; KHEDHER, K. M.; YASEEN, Z. M. (2022). Reference evapotranspiration prediction using high-order response surface method. **Theoretical and Applied Climatology**, 148(1): 849-867.

KESHTEGAR, B.; KISI, O.; ZOUNEMAT-KERMANI, M. (2019). Polynomial chaos expansion and response surface method for nonlinear modeling of reference evapotranspiration. **Hydrological Sciences Journal**, 64 (6): 720-730.

KHOUNANI, Z.; NAZEMI, F.; SHAFIEI, M.; AGHBASHLO, M.; TABATABAEI, M. (2019). Techno-economic aspects of a safflower-based biorefinery plant co-producing bioethanol and biodiesel. **Energy Conversion and Management**, 201: 112-184.

- KIM, J.; ASSEFA, A. D.; SONG, J.; MANI, V.; PARK, S.; LEE, S. K.; HAHN, B. S. (2020). Assessment of metabolic profiles in florets of *Carthamus* species using ultra-performance liquid chromatography-mass spectrometry. **Metabolites**, v. 10, n. 11, p. 440.
- KISI, O. (2009). Daily pan evaporation modelling using multi-layer perceptrons and radial basis neural networks. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(2): 213-223.
- KOECH, R.; LANGAT, P. (2018) Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. **Water**, 10, 1771.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, 15: (3), 259-263.
- KOÇ, H. (2019). Evaluation of safflower cultivars in terms of yield and oil ratio under different precipitation. **Turkish Journal of Agriculture and Natural Sciences**. 6 (3): 518- 526.
- KRISHNA, P.A. (2018). Evapotranspiration and agriculture. A review. **Agric. Rev.**, 40, 1–11.
- KUMAR, G. D.; VIDHEYA-RAJU, B.; NANDAN, D. (2020). A review on the smart irrigation system. **J. Comput. Theor. Nanosci.**, 17, 4239–4243.
- KUMARI V.V, ROY A, VIJAYAN R. (2021). Drought and heat stress in cool-season food legumes in sub tropical regions: Consequences, adaptation, and mitigation strategies. **Plants**, 10, 1038.
- KUNDALIA, K.; PATEL, Y.; SHAH, M. (2020). Multi-label Movie Genre Detection from a Movie Poster Using Knowledge Transfer Learning. **Augmented Human Research**, 5: (11).
- KUSHWAHA, N.; RAJPUT, J.; SHIRSATH, P. B.; SENA, D.; MANI, I. (2022). Seasonal climate forecasts (SCFs) based risk management strategies: A case study of rainfed rice cultivation in India. **Journal of Agrometeorology**, 24(1): 10–17. <https://doi.org/10.54386/jam.v24i1.775>
- LEMAITRE-BASSET, T.; OUDIN, L; THIREL, G. (2022). Evapotranspiration in hydrological models under rising CO<sub>2</sub>: a jump into the unknown. **Climatic Change** 172, 36. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03384-1>
- LIOU, Y. A.; KAR, S.K. (2014). Evapotranspiration Estimation with Remote Sensing and Various Surface Energy Balance Algorithms - A Review. **Energies**, 7, 2821–2849.

LIU, D.; JIA, Q.; LI, J.; ZHANG, P.; REN, X.; JIA, Z. (2020). Increased photosynthesis and grain yields in maize grown with less irrigation water combined with density adjustment in semiarid regions. **Peer J.**, 8, e 9959.

LÓPEZ, N.J.F.; CANO, J.; DE LA ROSA, R.; VELASCO, L.; LEÓN, L. (2020). Genotype by environment interaction for oil quality components in olive tree. **Eur. J. Agric.**, 119.

MADURANGA, M.W.; ABEYSEKERA, R. (2020) Machine learning applications in iot based agriculture and smart farming: A review. **Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.**, 4, 24–27.

MAGHREBI, M.; NOORI, R.; BHATTARAI, R. (2020). Iran's Agriculture in the Anthropocene. **Earth's Futur**, 8: e2020EF001547.

MAHMOUD, A. E. D., FRANKE, M., STELTER, M., & BRAEUTIGAM, P. (2020). Mechanochemical versus chemical routes for graphitic precursors and their performance in micropollutants removal in water. **Powder Technology**, 366, 629–640.

MALIK, A. K.; GHORBANI A. M.; A. G.; KASHANI, M. H.; KISI, O.; KIM, S. (2019). "The viability of co-active fuzzy inference system model for monthly reference evapotranspiration estimation: case study of Uttarakhand State." **Hydrology Research** 50, no. 6: 1623-1644.

MANSOOR, S.; FAROOQ, I.; KACHROO, M. M.; MAHMOUD, A. E. D.; FAWZY, M.; POPESCU, S. M.; ALYEMENI, M. N.; SONNE, C.; RINKLEBE, J.; AHMAD, P. (2022). Elevation in wildfre frequencies with respect to the climate change. **Journal of Environmental management**, 301, 113769.

MEENA, V. D.; DOTANIYA, M. L.; SAHA, J. K.; MEENA, B. P.; DAS, H.; BEENA, P. A. K. (2019). Sustainable C and N management under metal-contaminated soils. In R. Datta, R. Meena, S. Pathan, & M. Ceccherini (Eds.), **Carbon and nitrogen cycling in soil** (pp. 293–336). Springer.

MÜNDEL, H.H.; BLACKSHOW, R.E.; BYERS, J.R.; HUANG, H.C.; JOHNSON, D.L.; KEON, R. **Safflower production on the Canadian Prairies**. Lethbridge: Canada. 2004, 36p.

NAZARI, B.; LIAGHAT, A.; AKBARI, M. R.; KESHAVARZ, M. (2018). Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement, **Agricultural Water Management**, Volume 208, Pages 7-18, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.003>.

NETO, R.C.; RAMOS, S. M. B.; PEGO, M.F.F.; SANGLARD, D.A. (2020). Avaliação de acessos de cártamo adaptáveis às condições de déficit hídrico e seu potencial para programas de melhoramento. **Acta Iguazu**, 9 (1): 137-149.

RAI, P.K.; NISTOR, M. M.; MÎNDRESCU, M.; PETREA, D. (2019). Impact of climate change on crop evapotranspiration in Turkey during the 21st century. **Meteorol Appl**, 26:442–453. <https://doi.org/10.1002/met.1774>.

RIVAS, J.; MATARAZZO, R. **Producción de cártamo conderaciones generales**. Boletín de divulgación n.20. Buenos Aires: INTA, 2009.

NOOR, M.; ISMAIL, T.; SHAHID, S. (2019). Development of multi-model ensemble for projection of extreme rainfall events in Peninsular Malaysia. **Hydrol Res**, 50:1772–1788.R

NOURANI, V.; SAYYAH-FARD, M.; ALAMI, M. T.; SHARGHI, E. (2020). Data pre-processing effect on ANN-based prediction intervals construction of the evaporation process at different climate regions in Iran. **Journal of Hydrology**, 588, 125078.

OEIKE, E. A.; OPLINGER, E. S.; TEYNOR, T. M.; PUTNAM, D. H.; DOLL, J. D.; KELLING, K. A.; DURGAN, B. R.; NOETZEL, D. M. **Safflower**. Alternative Field Crops Manual, 8p, 1992.

OYEN, L. P. A.; UMALI, B. E. (2007). **Carthamus tinctorius L.** Record from Protabase. van der Vossen, H. A. M.; Mkamilo, G. S. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands.

PALUDO, J. T. S., BONFIM-SILVA, E. M., DA SILVA, T. J. A., DE FREITAS SOUSA, H. H., ZANOTTO, M. D., & FENNER, W. (2018). Agronomic performance of Safflower genotypes (*'Carthamus tinctorius'* L.) under different soil bulk density levels in the Oxisol of the Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, 12(3), 407.

PARAMESHNAIK, C.; SOMANAGOUDA, G.; SALAKINKoeOP, S.R. (2022). Effect of Irrigation Scheduling on Growth, Yield and Economics of Hybrid Safflower. **Biological Forum—An International Journal**, 14 (2a): 414-419.

PARAJULI, K.; JONES, S. B.; TARBOTON, D. G.; FLERCHINGER, G. N.; HIPPS, L. E.; ALLEN, L. N.; SEYFRIED, M. S. (2019). Estimating actual evapotranspiration from stony-soils in montane ecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, 265, 183-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.019>. Disponível em: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192318303733>). Acesso em: 13 jul. 2022.

PELARACCI, S.; ROCHA, L.; ROMAGNOLI, F.; BOGGIA, A.; PAOLOTTI, L. (2022). Agricultural Co-Product Management: An LCA Perspective on the Use of Safflower Oilcake from Bio-Oil Production in Umbria Region, Italy" **Environmental and Climate Technologies**, 26 (1): 25-35. 2022.

PEREIRA, L.; PAREDES, P.; HUNSAKER, DJ; LÓPEZ-URREA, R.; MOHAMMADI SHAD, Z. (2021). Coeficientes Padrão de Cultura Simples e Basal para Culturas de Campo. Atualizações e Avanços no Método FAO56 de Requisitos de Água para Cultivos. Agrícola. **Gestão de Água**, 243.



- PEREIRA, L.; PAREDES, P.; MELTON, F.; JOHNSON, L.; WANG, T.; LÓPEZ-URREA, R.; CANCELA, JJ; ALLEN, R.G. (2020). Previsão de Coeficientes de Cultura da Fração de Cobertura do Solo e Altura. Antecedentes e Validação Usando Dados de Sensoriamento Remoto e Terrestre. Agrícola. **Gestão de Água**, 241, 106697.
- RAJALAKSHMI, R.; VIDHYA J. (2019) **Toxic environment monitoring using Arduino-based sensors**. International Conference on System, Computing, Automation and Networking (ICSCAN), pp 1–6.
- RAZUMNOVA, L.A.; KAMENEV. R.A.; TURCHIN V.V. (2018). Effect of mineral fertilizers and bacterial preparations on the productivity and oil content of safflower in the North-Eastern area of the Rostov region. **Bull Voronezh State Agrarian Univ**, 1(56): 43-49. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.1.43>.
- ROCHE, J.; MOULOUGUI, Z.; CERNY, M.; MERAH, O. (2019). Effect of sowing dates on fatty acids and phytostérols patterns of *Carthamus tinctorius* L. **Appl. Sci.** 9, 2839.
- RODRIGUES, Á. P. (2022). Desenvolvimento de um protótipo para a automação e controle de irrigação das plantações. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, 8, 2675 – 3375. DOI [doi.org/ 10.51891/rease.v8i5.5655](https://doi.org/10.51891/rease.v8i5.5655). Disponível em: <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/idc-desenvolvimento-de-um-prototipo-para-a-automao-e-controle-de-irrigao-das-plantas.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2022.
- ROSENZWEIG, C.; SOLECKI, W.; ROMERO-LANKAO, P.; MEHROTRA, S.; DHAKAL, S.; IBRAHIM, S. A. (2018). **Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network**. Cambridge: Cambridge University Press.
- SAHOO, K. S.; PUTHAL, D.; TIWARY, M.; USMAN, M.; SAHOO, B.; WEN, Z.; RANJAN, R. (2019). ESMLB: Efficient switch migration-based load balancing for multicontroller SDN in IoT. **Internet of Things Journal**, 7 (7): 5852-5860.
- SALIM, F.; ZENG, X.; HINA, S.; OMER, A. (2021). Regional changes in extreme temperature records over Pakistan and their relationship to Pacific variability. **Atmos. Res.**, 250, 105407.
- SALMAN, S.A; NASHWAN, M.S; ISMAIL, T.; SHAHID, S. (2020). Selection of CMIP5 general circulation model outputs of precipitation for peninsular Malaysia. **Hydrol Res**, 51: 781–798.
- SANTANIELLO, A.; SCARTAZZA, A.; GRESTA, F.; LORETI, E.; BIASONE, A.; DI TOMMASO, D.; PIAGGESI, A.; PERATA, P. (2017). Ascophyllum nodosum Seaweed Extract Alleviates Drought Stress in Arabidopsis by Affecting Photosynthetic Performance and Related Gene Expression. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.1362. DOI=10.3389/fpls.2017.01362.

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; SARTORI, M. M. P.; ZANNOTO, M.D.; SILVA, M. A. (2018). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) yield as affected by nitrogen fertilization and different water regimes. **Acta Agronómica**, 67 (2).

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; SILVA, M. A.; KLAR, A. E.; SILVA, A. A. F.; SILVA, T. R. B. (2018). Irrigated safflower in phenological stages of Brazilian southeast dry season. **Irriga**, 23 (3): 493-504.

SARTO, M. V. M.; BASSEGIO, D.; ROSOLEM, C. A.; SARTO, J. R. W. (2018). Safflower root and shoot growth affected by soil compaction. **Soil and Plant Nutrition**, 77 (2): 348-355. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2017191>.

SAYILIR C, CINAR V.M, UNAY A, (2019). Determination of yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under Menemen-Izmir ecological conditions. **Journal Aegean Agric. Res Inst**, 29(1): 71–75. <https://doi.org/10.18615/anadolu.568851>.

SHARMA, D.N.; TARE, V. (2021). Assessment of irrigation requirement and scheduling under canal command area of Upper Ganga Canal using CropWat model. **Modeling Earth Systems and Environment**, 8:1863–1873. DOI 10.1007/s40808-021-01184-7.

SILVA, R. A. D.; SILVA FILHO, E. M.; COSTA, M.; GRACINDO, Â. P. A. C.; AQUINO PESSOA, P. M.; GONDIM, A. D.; LICHSTON, J. E. (2021). Oil Quality and Yield of Different *Carthamus tinctorius* Cultivars: Promising Oilseeds for Biodiesel in Semi-Arid Regions. **Journal of the American Oil Chemists Society**, 98: (3), 241–251. doi:10.1002/aocs.12471.

SILVA, W.A.D.; SANTANA, J.S.; SILVA, C.M.D.; NUNES, A.A. (2017). Regionalização do coeficiente de cultura para o planejamento da agricultura irrigada no Estado do Maranhão -Brasil. **Engenharia Agrícola**, 37 (5): 953-960. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n5p953-960/2017>

STEBERL, K.; HARTUNG, J.; MUNZ, S.; GRAEFF-HÖNNINGER, S. (2020). Effect of row spacing, sowing density, and harvest time on floret yield and yield components of two safflower cultivars grown in southwestern Germany. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. 664.

SUCHORAB, Z.; MAJEREK, D.; KOČÍ, V.; & ČERNÝ, R. (2020). Flat time-domain reflectometry sensor for non-invasive monitoring of moisture changes in building materials. **Measurement**, 165, 108091.

SURYA, S.G.; YUVARAJA, S.; VARRLA, E.; BAGHINI, M.S.; PALAPARTHY, V.S.; SALAMA, K.N. (2020). A field-integrated capacitive sensor for rapid detection and quantification of soil moisture. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 321, 128542.

SÁ, E. L. C.; POLETINE, J. P.; BRONDANI, S. T.; BARELLI, A. A. B.; SILVA, V. P. (2020). Genetic parameters and dissimilarity between safflower accessions. **Journal of Agronomic Sciences**, 4, 269 - 286.

TABIB-LOGHMANI. (2019). Sayed Mohammad Taghi et al. Influence of cut-off irrigation on seed quality and physiological indices of various safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. **Acta Agrobotanica**, v. 72, n. 4.

TAGLIAFERRE, C.; OLIVEIRA, R.A.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; MATERÁN, F. J. V.; MARTINEZ, M. A. (2011). Influência da presença da bordadura e dos níveis de água na evaporação obtida em minievaporímetros. **Revista Ceres**. 58 (2): 161 - 167.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 Ed. Porto Alegre: Artmed, 858 p., 2017.

TALEBI, R.; NOSRATI, S.; ETMINAN, A.; NAJI, A.M. (2018). Genetic diversity and population structure analysis of landrace and improved safflower (*Carthamus tinctorios* L.) germplasm using arbitrary functional gene-based molecular markers. **Biotechnol. Equip.**, 32, 1183–1194.

TIKHAMARINE, Y.; MALIK, A.; PANDEY, K.; SAMMEN, S. S.; SOUAG-GAMANE, D.; HEDDAM, S.; KISI, O. (2020). Monthly evapotranspiration estimation using optimal climatic parameters: efficacy of hybrid support vector regression integrated with whale optimization algorithm. **Environmental Monitoring and Assessment**, 192(11): 1-19.

TOGNERI, R.; KAMIENSKI, C.; DANTAS, R.; PRATI, R.; TOSCANO, A.; SOININEN, J.-P.; CINOTTI, T.S. (2020). **Advancing IoT-based smart irrigation**. **Internet Things Mag**. 2, 20–25.

VAN OOSTEN, M.J.; PEPE, O.; DE PASCALE, S.; SILLETTI, S.; MAGGIO, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, 4 (5). <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>.

VENANCIO, L. P.; DA CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C.; DO AMARAL, C. H.; DOS REIS, E. F. (2019). Evapotranspiração de cultura: uma abordagem dos principais métodos aplicados às pesquisas científicas e na agricultura. **Irriga**, 24: (4), 719-746. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n4p719-746.

VOGEL, E.; DONAT, MG; ALEXANDRE, LV; MEINSHAUSEN, M.; RAY, DK; KAROLY, D.; MEINSHAUSEN, N.; FRIELER, K. (2019). Os efeitos dos extremos climáticos nos rendimentos agrícolas globais. **Ambiente. Res. Lett.** 14, 054010.

WANG, C.; WANG, S.; CHEN, H.; WANG, J.; TAO, Y.; LIU, J. (2018). Evaluation of Water-Storage and Water-Saving Potential for Paddy Fields in Gaoyou, China. **Water**. 10, 1176. **Hydrology**, 9: (123), 10-12.

WANG, H.; YAN, H.; ZENG, W.; LEI, G.; AO, C.; ZHA, Y. (2020). A novel nonlinear Arps decline model with salp swarm algorithm for predicting pan evaporation in the arid and semi-arid regions of China. **Journal of Hydrology**, 582, 124545.

WHALEY, R.; ESKANDARI, M. (2019). Genotypic main effect and genotype-by-environment interaction effect on seed protein concentration and yield in food-grade soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). **Euphytica**, 215, 1–17.

YAN, S.; WU, Y.; FAN, J.; ZHANG, F.; PAW, U.K.T.; ZHENG, J. (2020). A sustainable strategy of managing irrigation based on water productivity and residual soil nitrate in a no-tillage maize system. **J Cleaner, Prod** 262: 121-279.

YAO, Y.; YAO, J.; DU, Z.; WANG, P.; DING, K. (2018). Structural elucidation and immune-enhancing activity of an arabinogalactan from flowers of *Carthamus tinctorius* L. **Carbohydr Polym**, 15 (202):134-142. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.08.098. Epub 2018 Aug 26. PMID: 30286986.

YASEEN, Z. M.; AL-JUBOORI, A. M.; BEYAZTAS, U.; AL-ANSARI, N.; CHAU, K. W.; QI, C.; SHAHID, S. (2020). Prediction of evaporation in arid and semi-arid regions: A comparative study using different machine learning models. **Engineering applications of computational fluid mechanics**, 14(1): 70-89.

YUAN, X.; WANG, L.; WU, P.; JI, P.; SHEFFIELD, J.; ZHANG, M. (2019). Mudança antropogênica para maior risco de seca repentina na China. **Nat. Comum**, 10, 4661.

ZAFARI, M.; EBADI, A.; JAHANBAKHS, S.; SEDGHI, M. (2020). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) biochemical properties, yield, and oil content affected by 24 - epibrassinosteroid and genotype under drought stress. **Journal of agricultural and food chemistry**, 68 (22), 6040 - 6047.

ZEMOUR, K.; ADDA, A.; LABDELLI, A.; DELLAL, A.; CERNY, M.; MERAH, O. (2021). Effects of genotype and climatic conditions on the oil content and its fatty acids composition of *Carthamus tinctorius* L. seeds. **Agronomy**. 11:2048. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102048>.

ZHANG, B.; FU, Z.; WANG, J.; ZHANG, L. (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. **Agricultural Water Management**, 212, 349-357.

ZOU H.; FAN, J.; ZHANG, F.; XIANG, Y.; WU, L.; YAN, S. (2020). Optimization of drip irrigation and fertilization regimes for high grain yield, crop water productivity and economic benefits of spring maize in Northwest China. **Agric Water Manage**, 230: 105986. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.003>.