

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Maurício Siqueira dos Santos

**USO DA ÁGUA, RENDIMENTO DE GRÃOS E TEORES DE ÓLEO DE
GIRASSOL SUBMETIDO A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE
IRRIGAÇÃO**

Santa Maria, RS
2021

Maurício Siqueira dos Santos

**USO DA ÁGUA, RENDIMENTO DE GRÃOS E TEORES DE ÓLEO DE GIRASSOL
SUBMETIDO A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dra. Mirta Teresinha Petry

Santa Maria, RS
2021

Dos Santos , Maurício Siqueira
USO DA ÁGUA, RENDIMENTO DE GRÃOS E TEORES DE ÓLEO DE
GIRASSOL SUBMETIDO A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO
/ Maurício Siqueira Dos Santos .- 2021.
51 p.; 30 cm

Orientadora: Mirta Teresinha Petry
Coorientador: Diego Nicolau Follmann
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. Rendimento de grãos de girassol 2. Teores de óleo
de girassol 3. Estratégias de irrigação de girassol 4.
Coeficientes de cultura do girassol I. Petry, Mirta
Teresinha II. Follmann, Diego Nicolau III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

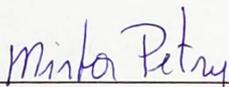
Declaro, MAURÍCIO SIQUEIRA DOS SANTOS , para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Maurício Siqueira dos Santos

**USO DA ÁGUA, RENDIMENTO DE GRÃOS E TEORES DE ÓLEO DE GIRASSOL
SUBMETIDO A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 13 de dezembro de 2021.



Mirta Teresinha Petry, Dra. (UFSM) - Videoconferência
(Orientador/Presidente)



Alberto Eduardo Knies, Dr. (UERGS) - Videoconferência



Diego Nicolau Folmann, Dr. (UFSM) - Videoconferência

Santa Maria, RS

DEDICATÓRIA

À memória do meu avô Luiz Venâncio dos Santos

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me possibilitar estar saudável física e mentalmente, mesmo nos períodos mais exaustivos para escrever essa dissertação.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, por oportunizarem a realização desse trabalho.

À professora Mirta Teresinha Petry pela orientação, compreensão, confiança e auxílio na confecção desse trabalho.

Ao professor Juliano Dalcin Martins pela ajuda e apoio no desenvolver dos trabalhos.

Aos meus pais, Luis Omar Carpes dos Santos e Roselena Siqueira dos Santos pelo apoio incondicional e ao meu irmão André Siqueira dos Santos pelo apoio e cuidados com nossos pais.

À minha noiva Vívian Oliveira Costa pelo apoio e companheirismo.

Aos meus familiares e amigos mais próximos que se fizeram presentes de alguma forma durante o período de execução desse trabalho.

A Elton Ferreira Lima e Max Kleber Laurentino Dantas pelo empenho e dedicação durante a condução e execução do experimento.

Aos Membros e integrantes do Sistema Irriga.

A empresa Celena Alimentos pelo apoio na implantação do experimento.

A empresa Mais Soja, a qual possibilitou com que conciliasse a execução desse trabalho com o labor na empresa.

Ao Laboratório de Engenharia de Processos Agroindustriais, da Universidade Federal de Santa Maria – Campus de Cachoeira do Sul e a Clarissa Moraes da Silva pelo auxílio e dedicação em tornar possível algumas avaliações desse trabalho.

“Ninguém é tão grande que não possa aprender, nem tão pequeno que não possa ensinar”
(Esopo).

RESUMO

AUTOR: Maurício Siqueira dos Santos

ORIENTADORA: Mirta Teresinha Petry

USO DA ÁGUA, RENDIMENTO DE GRÃOS E TEORES DE ÓLEO DE GIRASSOL SUBMETIDO A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO

O crescente desbalanço entre a demanda e o suprimento de água na agricultura, principalmente a irrigada, tem motivado o uso de novas ferramentas de manejo da irrigação, incluindo melhorias nas estimativas do requerimento hídrico das culturas, ou seja, a evapotranspiração das culturas (ET_c). Melhorar a ET_c implica em ajustar os parâmetros usados na estimativa dessa, como a evapotranspiração de referência (ET_o) e os coeficientes de cultura (K_c) durante todo o ciclo. O K_c pode ser estimado através de parâmetros da cultura, como o índice de área foliar (IAF), a fração de cobertura do solo (f_c) e a altura da planta, uma vez que, o K_c representa uma fração da ET_o de uma cultura qualquer, nas condições em que essa está sendo cultivada. Assim, esse trabalho teve por objetivo avaliar as repostas de produtividade de aquênios e teor de óleo do girassol submetido a diferentes estratégias de irrigação e avaliar a eficácia do uso da área foliar, altura de planta e fração de cobertura para derivar os coeficientes de cultura. O experimento foi conduzido no interior de uma cobertura móvel, de acionamento eletromecânico, no ano agrícola 2019/20, em área experimental do Sistema Irriga - UFSM. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), organizado no modelo fatorial 2x4, com três repetições. O fator A foi composto pelos resíduos na superfície do solo (com e sem palha), enquanto o fator B foi constituído pelo manejo da irrigação. Irrigações fixas de ± 15 mm eram aplicadas sempre que a água disponível no solo (ASW) atingia 80, 70, 60 e 50% do TAW (total de água disponível). O conteúdo de água no solo foi monitorado com sensores FDR, até 55 cm de profundidade. Parâmetros de IAF e altura de plantas foram combinados com variáveis meteorológicas (umidade relativa, velocidade do vento) e com os efeitos da densidade e resistência do dossel à transpiração para estimar o K_{cb} e o K_c durante o ciclo de desenvolvimento do girassol, usando metodologia proposta por Allen e Pereira. Os valores do K_{cb} derivados para a fase inicial, intermediária e final foram de 0.25; 1.01 e 0.75, respectivamente. A associação dos graus-dia acumulados com o IAF ao longo do ciclo demonstrou excelente ajuste, indicando que o IAF pode ser estimado para o girassol a partir de dados da temperatura do ar. Não se observou interação entre os fatores palha e manejo de água; as diferentes estratégias de irrigação não resultaram em diferenças estatísticas entre o rendimento e componentes de rendimento. Entretanto, os teores de óleo decresceram com o aumento da lâmina total de água durante o ciclo, indicando que o momento de ocorrência do déficit pode ter influenciado essa variável.

Palavras-chave: Balanço hídrico, produtividade da água e da cultura, coeficientes de cultura.

ABSTRACT

AUTOR: Maurício Siqueira dos Santos

ORIENTADORA: Mirta Teresinha Petry

WATER USE, GRAIN YIELD AND OIL CONTENT OF SUNFLOWER SUBMITTED TO DIFFERENT IRRIGATION STRATEGIES

The crescent imbalance between water demand and supply in agriculture, especially irrigated agriculture, has motivated the use of new irrigation management tools, including improving crop water requirement estimates, i.e., crop evapotranspiration (ET_c). Improving the ET_c implies adjusting the parameters used to estimate it, that is, the reference evapotranspiration (ET_o) and the crop coefficients (K_c) throughout the crop cycle. K_c can be derived using crop parameters such as leaf area index (LAI), the fraction of ground cover (f_c), and plant height since K_c represents a fraction of the ET_o of any vegetation, under the conditions in which it is being cultivated. Thus, this work aimed to evaluate the yield responses of achenes and sunflower oil content submitted to different irrigation strategies and assess the effectiveness of the Allen e Pereira (2009) approach to derive the sunflower crop coefficients. The experiment was conducted inside a rainout shelter, in the 2019/20 growing season, in an experimental area of the Irriga System - UFSM. The experimental design was a completely randomized (DIC), organized in a 2x4 factorial model, with three replications. Factor A was composed of residues on the soil surface (with and without straw), while factor B consisted of irrigation management. Fixed irrigations of ± 15 mm were applied whenever the available soil water (ASW) reached 80, 70, 60, and 50% of the TAW (total available water). Soil water content was monitored with FDR sensors, up to 55 cm in depth. We combined plant parameters, such as LAI and plant height, with climate variables (relative humidity, wind speed) and the effects of density and the canopy transpiration resistance to estimate K_{cb} and K_c during the sunflower growing season, using the A&P approach. The K_{cb} derived for the initial, intermediate, and final phases were 0.25, 1.01, and 0.75, respectively. The association of the accumulated degree-days with the LAI throughout the cycle demonstrated an excellent adjustment, indicating that LAI can be estimated for sunflowers from air temperature. There was no interaction between straw and water management factors; different irrigation strategies did not result in statistical differences between yield and yield components. However, the oil contents decreased with the increasing of the total water depth during the cycle, indicating that the moment of occurrence of the deficit may have influenced this variable.

Key words: Soil water balance, water and crop productivity, crop coefficients

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ΔA	Variação do armazenamento de água no solo
AF	Área foliar
A&P	Aproximação Allen e Pereira (2009)
ASW	Água disponível
BH	Balanco hídrico do solo
C	Ascensão capilar
DC	Diâmetro de capítulo
DP	Percolação profunda
Es	Evaporação do solo
$ET_{c \text{ act}}$	Evapotranspiração real ou atual
ET_c	Evapotranspiração real da cultura
ET_o	Evapotranspiração de referência da grama
EUA	Eficiência de uso da água
FAD	Fração de água disponível no solo
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
F_c	Fração de cobertura
FDR	Frequency Domain Reflectometer
Fr	Fator de ajuste relativo ao controle estomático da cultura
GDA	Graus dia acumulados
h	Altura média de planta
I	irrigação
IAF	Índice de área foliar
$K_{c \text{ act}}$	Coefficiente de cultura atual
$K_{c \text{ end}}$	Coefficiente de cultura final
$K_{c \text{ ini}}$	Coefficiente de cultura inicial
$K_{c \text{ mid}}$	Coefficiente de cultura intermediário
K_c	Coefficiente de cultura
$K_{c's}$	Coefficientes de cultura
$K_{cb \text{ full}}$	Coefficiente de cultura para condições de máximo recobrimento do solo
K_{cb}	Coefficiente de cultura de base
K_d	Coefficiente de densidade
K_e	Coefficiente de evaporação do solo
K_s	Coefficiente de estresse
L	Largura máxima da folha
MAC	Massa de aquênios por capítulo
MMA	Massa de mil aquênios
p	Depleção permitida para a não ocorrência de estress para as plantas
P	Precipitação
PMP	Ponto de murcha permanente
R^2	Coefficiente de determinação
RAW	Linha limítrofe para a ocorrência de estress
RH	Umidade relativa mínima do ar
RO	Componentes de escoamento superficial
R_s	Radiação solar
SF	Fluxo superficial de água
TAW	Total de água disponível no solo
Tb	Temperatura base

T_c	Transpiração da cultura
T_{max}	Temperatura máxima
T_{min}	Temperatura mínima
T_{opt}	Temperatura ótima
u_2	Velocidade do vento a dois metros de altura
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UR_{min}	Umidade relativa mínima do ar
WP	Produtividade da água
Z_r	Espessura da camada ocupada pelas raízes da planta
θ	Umidade
θ_{PMP}	Conteúdo de água no ponto de murcha permanente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Objetivos específico.	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 A cultura do girassol.....	14
2.2 Requerimento hídrico e uso da água	15
2.3 Relação entre o IAF, f_c e altura de plantas e os coeficientes de cultura simples e dual.....	16
2.4 Estratégia de irrigação e o rendimento de grãos na cultura do girassol.....	19
2.5 Teor de óleo do girassol	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Descrição da área experimental.....	21
3.2 Descrição do experimento e delineamento experimental	22
3.3 Dados observados	23
3.3.1 Conteúdo de água no solo	23
3.3.2 Determinações morfológicas, quantidade e qualidade de aquênios	23
3.4 Balanço hídrico: Água disponível no solo.....	24
3.5 Estimativa dos coeficientes de cultura simples (K_c) e duais (K_{cb}) do girassol usando IAF e altura de plantas.....	25
3.6 Teor de óleo dos aquênios	27
3.7 Análise estatística.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1 Dinâmica da água no solo e fatores meteorológicos	28
4.2 Estima do K_c e K_{cb} a partir do IAF e altura de plantas.....	31
4.3 Relação do IAF, coeficientes de cultura com os graus-dia acumulados.....	34
4.4 Componentes do rendimento e produção do girassol sob diferentes estratégias de irrigação e manejo da palhada.....	36
4.5 Teores de óleo de girassol sob diferentes estratégias de irrigação	40
5. CONCLUSÕES.....	44
6. APÊNDICE	44
7. REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea, originária da América do Norte (CASTRO et al, 1999), de ciclo anual, que tem como características o rápido crescimento, resistência ao frio e calor, assim como a curtos períodos de déficit hídrico. É uma cultura com sistema radicular pivotante e profundo, que lhe confere maior habilidade em extrair água em profundidade, em relação a culturas como o sorgo (*Sorghum bicolor* Moench [L.]) e a soja (*Glycine max* L.), tornando-a tolerante a curtos períodos de deficiência hídrica (HOWELL et al., 2015), podendo alcançar rendimentos entre 290 e 350 g m⁻² e produtividade da água de 0.49 kg m⁻³ (TOLK e HOWELL, 2012).

O girassol pode ser utilizado para diversos fins, como a produção de grãos para o uso em dietas humanas e animais, extração de óleo para consumo humano (DALCHIAVON; MALACARNE; CARVALHO, 2016), indústria de alimentos e uso potencial como biodiesel (LUCAS et al., 2015). O girassol é considerado uma das mais importantes fontes de óleo vegetal e biodiesel do mundo (KIANNI et al., 2016), fazendo com que aproximadamente 9% das áreas cultivadas com culturas oleaginosas sejam devotadas a essa cultura. Características como alta adaptabilidade da cultura e ciclos relativamente curtos e bem definidos, tornam a cultura uma interessante alternativa de cultivo a ser agregada no sistema produtivo agrícola. A agricultura irrigada é a maior consumidora de água no mundo, competindo constantemente com o setor industrial e urbano pelo uso desse recurso.

De acordo com a FAO (2015), embora tenha havido uma redução no uso da água na agricultura, principalmente em função de melhores práticas de manejo (ciclos mais curtos, adaptação de épocas de plantio, manejo da irrigação, etc.), a agricultura não pode competir economicamente com o setor doméstico e industrial pela água, simplesmente porque a produção primária necessita de um grande volume de água para se viabilizar economicamente. Como o girassol responde bem a curtos períodos de deficiência hídrica, em relação a outras grandes culturas, a redução na lâmina de água irrigada pode ser uma alternativa para aumentar a produtividade da água (LÓPEZ-URREA et al., 2014).

A relação entre o requerimento hídrico-*evapotranspiração* foi internacionalmente introduzida por DOORENBOS e PRUITT (1977), no boletim FAO-24, representando, na prática, o consumo de água pela cultura. Tendo em vista a importância da cultura e a possibilidade de inserção na rotação de culturas com soja e milho em áreas irrigadas, conhecer

informações referentes ao requerimento hídrico da cultura, sua evapotranspiração e coeficientes de cultura tornam-se essenciais para um adequado manejo da irrigação do girassol.

Embora o girassol apresente características morfofisiológicas que possibilitem maior tolerância ou até mesmo resistência a períodos de déficit hídrico, Oliveira et al. (2012) apontaram que o inadequado suprimento hídrico pode trazer consequências que implicam em menor desenvolvimento da cultura e consequente redução na produtividade de grãos de girassol. Em contrapartida, Silva et al. (2013) encontraram resultados que apontam que o manejo da irrigação com déficit resulta em maior eficiência de uso da água por parte da cultura. Aliado a isso, a baixa resposta ao fotoperíodo e a alta resposta a soma térmica, resultante da temperatura média do ar, conforme Santos et al. (2018), fazem do girassol uma cultura possível de ser cultivada em locais distintos, desde que atendam às exigências térmicas do girassol.

Um dos fatores limitantes à produtividade agrícola é a insuficiência e má distribuições da chuva para atender a demanda hídrica da cultura (OLIVEIRA et al. 2012), afetando o consumo de água e o rendimento. O requerimento hídrico ou a evapotranspiração da cultura (ET_c) usualmente é determinada pela metodologia de duas etapas, onde a ET_c é obtida pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) e um coeficiente de cultura (K_c) (PÔÇAS et al., 2020). Nessa formulação, a ET_o representa a demanda evaporativa da atmosfera, enquanto o K_c representa as características morfológicas e fisiológicas de uma cultura específica, as quais diferem da cultura de referência. A ET_o é estimada pelo método FAO Penman-Montheit (PM- ET_o , ALLEN et al., 1998), a partir de dados meteorológicos facilmente obtidos em estações meteorológicas automáticas, detectando com precisão as variações locais da demanda evaporativa. Embora existam curvas de K_c adaptadas para uma gama de culturas, este é fortemente afetado por variações climáticas locais, além de fatores como a densidade de plantas, o tipo e as condições de cultivo (PÔÇAS et al., 2020). Assim, ajustes locais dos K_c 's são necessários, para que se possa melhorar a estimativa da ET_c do girassol.

Embora já existam valores de coeficiente de cultura pré-determinados para a cultura do girassol (ALLEN et al., 1998, LÓPEZ-URREA et al., 2014), os resultados se restringem a condições sem estresse e populações pouco densas de girassol, o que torna justificável a determinação desses parâmetros para condições distintas e populações mais adensadas. A aproximação proposta por Allen e Pereira (2009) sugere que características da vegetação, como a o índice de área foliar (IAF), ou alternativamente, a fração de solo coberta ou sombreada pelo dossel (f_c) e a altura de plantas (h) podem ser utilizadas para estimar o K_c para as condições climáticas da região de cultivo. Tendo em vista que o girassol é uma cultura de importância econômica, ambiental e social na agricultura, e que algumas regiões não dispõem de

distribuição adequada das precipitações, a busca por alternativas de manejo da irrigação, com a adoção de métodos alternativos de reposição de água, como submissão a períodos de déficit hídrico ou diferentes estratégias de irrigação, tornam importante estudos relacionados ao tema. Com isso em vista, o objetivo deste trabalho foi avaliar as repostas de produtividade de aquênios e teor de óleo do girassol submetido a diferentes estratégias de irrigação e avaliar a eficácia do uso da área foliar, fração de cobertura e altura de plantas, sugeridos por Allen e Pereira (2009), para derivar os coeficientes de cultura do girassol.

1.1 Objetivo geral

Avaliar as repostas de produtividade de aquênios e teor de óleo do girassol submetido a diferentes estratégias de irrigação e avaliar a eficácia do uso da área foliar, fração de cobertura e altura de plantas, sugeridos por Allen e Pereira (2009) para derivar os coeficientes de cultura do girassol.

1.2 Objetivos específico.

- (i) Determinar a resposta do girassol a diferentes estratégias de irrigação, limitando a água disponível no solo (ASW).
- (ii) Avaliar a importância das observações biofísicas da cultura, como IAF e altura de plantas, para derivar os coeficientes de cultura simples (K_c) e dual (K_{cb}) do girassol;
- (iii) Relacionar os coeficientes K_c e K_{cb} derivados da aproximação A&P (2009) com os graus-dia acumulado do girassol, visando melhorar os ajustes locais desses parâmetros e sua relação com a ETo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta cultivada anual, que apresenta diversos usos, como produção de óleo comestível, rações, biodiesel, ornamental, melífera entre outros; apresenta aptidão à rotação de culturas e resistência a déficits hídricos moderados (SOUZA, et al. 2015). É uma cultura com sistema radicular pivotante e profundo, que lhe confere maior habilidade em extrair água em profundidade, em relação a culturas como sorgo (*Sorghum*

bicolor Moench [L.]) e soja (*Glycine max* L.), tornando-a tolerante a curtos períodos de deficiência hídrica (HOWELL et al., 2015), podendo alcançar rendimentos entre 290 e 350 g m⁻² e produtividade da água de 0.49 kg m⁻³ (TOLK e HOWELL, 2012).

O girassol é considerado uma importante fonte de óleo vegetal e biodiesel no mundo (KIANNI et al., 2016), fazendo com que aproximadamente 9% das áreas cultivadas com culturas oleaginosas sejam destinadas ao cultivo de girassol. Características como alta adaptabilidade da cultura e ciclos relativamente curtos e bem definidos, tornam a cultura uma interessante alternativa de cultivo a ser agregada no sistema produtivo agrícola, especialmente quando inserida na rotação de culturas.

Para a safra 2019/20, segundo dados da CONAB, a produtividade média brasileira de girassol foi de 1590 kg ha⁻¹. Embora aparente ser uma produtividade baixa, atrativos como alto teor de óleo nos aquênios e possibilidade de compor esquemas de rotação de culturas fazem com que a cultura mantenha sua área de cultivo em ascensão. O teor de óleo dos aquênios do girassol varia entre 40% e 50% em peso (SAILER e GULYA, 2016), ou seja, dependendo da cultivar, seu teor de óleo pode chegar até 50%, tornando a cultura uma opção atrativa na produção de óleo vegetal e biocombustível.

Apesar da cultura apresentar considerável resistência a déficits hídricos, López et al. (2016), em avaliação à resposta produtiva do girassol em irrigação e adubação, concluíram que, quando irrigado, com irrigação bem manejada e de forma eficiente, o girassol apresenta significativa melhora na produtividade em comparação ao cultivo sem irrigação, fato este que pode ser atribuído a redução do estresse hídrico e térmico durante o período de floração da cultura. Carvalho et al. (2016) ressaltam que, por demandar menor requerimento hídrico em relação às culturas tradicionais como a soja e o milho, por mais que as produtividades em sistemas não irrigados não alcancem elevados tetos produtivos, o girassol vem sendo cultivado de Norte a Sul do Brasil, se mostrando uma importante ferramenta na rotação de culturas, abrindo caminhos para a diversificação da produção agrícola no país.

2.2 Requerimento hídrico e uso da água

A relação requerimento hídrico-*evapotranspiração* foi internacionalmente introduzida por Doorenbos e Pruitt (1977), no boletim FAO-24, por meio do procedimento prático que estimava a ET_c através da combinação K_c-ET_o . O girassol possui um ciclo de cultivo mais curto em relação à maioria das grandes culturas, fato que pode reduzir o requerimento hídrico (LÓPEZ-URREA et al., 2014). Além disso, seu sistema radicular profundo permite melhor uso

da água disponível no solo (ASW) (TOLK e HOWELL, 2012) e resistência a curtos períodos de deficiência hídrica (HOWELL et al., 2015). Embora a sua moderada resistência à seca, o rendimento e a produção de óleo decrescem se a exposição ocorrer na fase final do desenvolvimento vegetativo e floração (KARAM et al., 2007), com pouca interferência na produção de biomassa.

Jiang et al. (2014) colocam a evapotranspiração como um fator importante no manejo da irrigação da cultura, pois existe uma relação linear entre rendimento de grãos e evapotranspiração (YAVUZ et al., 2018), indicando que os melhores rendimentos são obtidos com irrigação plena. Entretanto, a sustentabilidade da agricultura irrigada passa por um melhor uso da água, uma vez que a disponibilidade dessa tem diminuído em muitas regiões, fazendo com que haja uma pressão contínua da sociedade para um uso mais racional desses recursos. De acordo com Rodrigues et al. (2013), a produção de grãos com irrigação plena pode não ser a melhor prática de manejo em nível de produtor, cujo objetivo final é o lucro. Dessa forma, há uma necessidade de considerar diferentes estratégias de irrigação, restringindo a irrigação em estádios de desenvolvimento que menos afetam a produção de grãos e óleos.

2.3 Relação entre o IAF, f_c e altura de plantas e os coeficientes de cultura simples e dual

As diretrizes do boletim FAO 56 foram um seguimento a um documento histórico publicado por Doorenbos e Pruitt (1977) e que introduziu, internacionalmente, a metodologia de duas etapas (K_c - ET_o) para estimar a ET_c de maneira prática (PEREIRA et al., 2015). Na aproximação K_c - ET_o , a evapotranspiração de referência (ET_o) representa o efeito primário das condições meteorológicas no consumo de água, enquanto o coeficiente de cultivo (K_c) faz o balanço da influência específica das culturas na ET_c e sua variação ao longo do ciclo das culturas. Assim, valores padrão de K_c para cada uma das principais quatro etapas do ciclo das culturas (ALLEN et al., 1998) foram providenciadas para um grande número de culturas e larga escala de usos (PEREIRA et al., 2015), visando diminuir as super e subestimativas da ET_c reportadas em muitos trabalhos.

O boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998) reduziu o processo de estimativa da ET_o a um único método, o Penman-Monteith (MONTEITH, 1965; SMITH et al., 1991), embora outros métodos possam ser utilizados, de acordo com a disponibilidade de dados e propósito da pesquisa. Os métodos mais comuns incluem os métodos modificados da equação de Penman,

de Blaney-Cridlle, o método de Hargreaves, baseado na radiação solar no topo da atmosfera e o método do Tanque Classe A.

A computação da ET_c pelo método do K_c simples ainda é a forma mais usada em programas de manejo de irrigação, por incluir em um único coeficiente tanto transpiração da cultura (T_c) como a evaporação do solo (E_s). Nesse caso, não estão incluídos, de acordo com Odhiambo e Irmak (2012), ajustes do efeito de resíduos culturais ou eventos de molhamento na superfície do solo. Entretanto, a estimativa poderia ser melhorada pela agregação de um coeficiente de estresse na T_c , quando a cultura for submetida a qualquer estresse que limita a transpiração (biótico ou abiótico), ou seja, quando o desenvolvimento diferir das condições padrão, o que limita a transpiração e o rendimento (PEREIRA et al., 2021)

O método mais preciso da estimativa da ET_c é pelo uso dos coeficientes de cultura duais, os quais foram propostos primeiramente por Wright (1982). O método do K_c dual estima separadamente, em base diária, a T_c e a E_s a partir da evapotranspiração de referência da grama (ET_o), pela aplicação de um coeficiente de cultura basal (K_{cb}) e um coeficiente de evaporação do solo (K_e). O K_{cb} é específico de cada cultura e estágio de desenvolvimento, sendo calculado pela razão entre a ET_c e ET_o (KOOL et al., 2014) e, quando a superfície do solo estiver suficientemente seca, de forma que a E_s for mínima, mas o conteúdo de água no solo for adequado para atender a demanda da cultura, a T_c é máxima ou potencial (ODHIAMBO; IRMAK, 2012). O K_e , por sua vez, se origina da razão entre a E_s e a ET_o , representando a evaporação a partir de solos úmidos.

O desmembramento da evapotranspiração da cultura (ET_c) em transpiração (T_c) e evaporação da água do solo (E_s), normalmente é realizado através de modelação. Uma curva típica, quando não há estresse, envolve quatro fases distintas (ALLEN et al., 1998). Em condições de reduzida disponibilidade de água no solo ao ponto de causar estresse na cultura, o K_{cb} é ajustado ao clima por um coeficiente de estresse (K_s), conforme Gimenez et al. (2017). Sempre que a depleção de água no solo for maior que o limite de água disponível para a não ocorrência de estresse, ou simplesmente, quando a fração de água disponível no solo (FAD) crítica tiver sido alcançada, a evapotranspiração atual da cultura ($ET_{c\ act}$) é computada em $ET_{c\ act} = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o$, e a T_c , por conseguinte, é calculada por $T_{c\ act} = (K_c K_{cb} ET_o)$.

Alguns métodos são conhecidos para a estimativa direta da ET_c , como o método da razão de Bowen (BUTTAR et al., 2018), método de covariâncias de vórtices (TIE et al., 2018) ou lisimetria (ALLEN et al., 2015). De acordo com Wilcox et al. (2003), a ET_c é a variável mais difícil de se determinar em ecossistemas, podendo representar até 95% do balanço hídrico em áreas secas. A função da E_s e T_c , num ecossistema, é distinta: enquanto a T_c é associada com a

produtividade das plantas (em geral, de forma linear), a E_s não contribui diretamente com a produção (KOOL et al., 2014). Por isso, o particionamento desses dois componentes melhora significativamente a produtividade da água (WP) ou, de forma mais generalista, a eficiência de uso da água (EUA) (AGAM et al., 2012).

Consideráveis esforços para estimar separadamente a E_s e T_c são feitos desde a década de 70, com o desenvolvimento dos modelos para situações em que as culturas cobrem apenas parcialmente o solo (RITCHIE, 1972), seguindo com a adoção de microlisímetros para medir a E_s sob o dossel da vegetação (SHAWCRIFT; GARDNER, 1983), enquanto a medição da T_c começou com a medição do fluxo de seiva. A E_s a partir de um solo em processo de secagem ocorre em dois ou três estágios (RITCHIE, 1972), onde o estágio I é dependente da umidade do solo na superfície e disponibilidade de energia (gradiente de vapor entre o solo e a atmosfera). Nos estágios II e eventualmente o III, a E_s vem a ser uma função primária do conteúdo de água no solo, das propriedades hidráulicas, ou seja, da capacidade do solo em conduzir a água até a zona evaporativa e dos gradientes de temperatura (JENSEN e ALLEN, 2016). Trabalhos recentes indicam que os três estágios são menos distintos em condições de elevada demanda evaporativa (SHAHRAEENI et al., 2012).

A maior parte dos métodos disponíveis para determinar a E_s são para solos descobertos, embora esses possam ser utilizados para estimar a E_s em solos sob “mulch” ou sob o dossel das plantas. A validação de um método, entretanto, vai depender de sua aplicabilidade sob condições heterogêneas, em diferentes propriedades de solo e padrão de molhamento pela chuva ou irrigação, assim como o espaçamento entre as linhas de cultivo (KOOL et al., 2014). Os microlisímetros, descritos por EVETT et al. (1995), manualmente pesados em base diária, são normalmente usados para medir a E_s . Entretanto, embora apreciados por sua simplicidade e economia, suas medidas, em geral, superestimam as estimativas da E_s em sistemas cultivados (WEI et al., 2014).

Os métodos para a medida direta da transpiração da vegetação (T_c) geralmente são baseados na medição do fluxo de seiva numa interface específica ao longo do contínuo solo-planta-atmosfera, enquanto os modelos usam a variação dos graus de resistência ao fluxo através da planta (KOOL et al., 2014). O FAO 56 não estabelece valores de K_c inicial para a cultura do girassol, apenas valores de K_c médio, o qual varia de 1,0 para cultivos de sequeiro e com baixa densidade populacional e 1,15 para cultivos com alta densidade populacional e K_c final de 0,35. Estimativas e quantificações para o coeficiente de cultura e evapotranspiração para a cultura do girassol em diferentes períodos foram observadas por Howell et al. (2015), Sánchez et al. (2014), Tyagi et al. (2000).

O boletim FAO-56 (Allen et al., 1998) recomenda o uso da curva de K_c e K_{cb} de quatro segmentos, representando as fases inicial, de desenvolvimento, intermediário e final. Nessa curva, é necessário conhecer apenas três valores chaves do K_c : o $K_{c\ ini}$ para o período inicial, $K_{c\ mid}$ para o período intermediário e o $K_{c\ end}$ para o período final (DOORENBOS; PRUITT, 1977; ALLEN et al., 1998). Entretanto, os K_c podem apresentar variações em função do clima local, sobretudo na duração das fases, dificultando a transferibilidade desses valores para outros climas e condições de cultivo. Assim, calibrações regionais são necessárias, sobretudo dos parâmetros da duração das fases, da cobertura do solo pela vegetação, da altura e população do dossel etc. (PETRY et al., 2021). As curvas de K_c podem ser aperfeiçoadas relacionando o ciclo de desenvolvimento à soma térmica, o que permite calibrar a duração dos períodos, como a inicial, da máxima cobertura do solo pelo dossel e maturação fisiológica (PEREIRA et al., 2015).

2.4 Estratégia de irrigação e o rendimento de grãos na cultura do girassol

A agricultura irrigada é a maior consumidora de água no mundo, competindo constantemente com o setor industrial e urbano pelo uso desse recurso. De acordo com a FAO (2015), embora tenha havido uma redução no uso da água na agricultura, principalmente em função do melhor manejo da irrigação, a agricultura não pode competir economicamente com o setor doméstico e industrial pela água, simplesmente porque a produção primária necessita de um grande volume de água para se viabilizar. Como o girassol responde bem a curtos períodos de deficiência hídrica em relação a outras grandes culturas, a redução na lâmina de água irrigada pode ser uma alternativa para aumentar a produtividade da água (LÓPEZ-URREA et al., 2014).

Diferentes déficits vêm sendo testados no milho (COMAS et al. 2019), no girassol (EL-BIALLY et al., 2018; EBRAHIMIAN et al., 2019), em olivais (DÍAZ et al., 2018) entre outras culturas. Segundo Comas et al. (2019), o objetivo da irrigação deficitária é limitar o aporte de água fornecido a cultura, a fim de limitar seu consumo sem que a produtividade da cultura ou características morfológicas sejam afetadas; com isso, se espera uma maior produtividade da água ou seja, menor quantidade de água gasta para produzir determinada quantidade de produto, isso implica em um menor uso de água para irrigação e menor custo de produção.

A interferência do déficit hídrico na produtividade do girassol para o período total da cultura é apresentada por López et al. (2016), onde valores observados de produtividade variaram de 1333 kg ha⁻¹ até 2622 kg ha⁻¹, quando supridas 29% e 64%, respectivamente, do

requerimento hídrico da cultura. Além disso, os tratamentos que tiveram maior influência da temperatura no período reprodutivo em conjunto com os maiores déficits demonstraram as menores produtividades. Contudo, apesar de demonstrada a importância do estudo da relação entre a irrigação deficitária e a produtividade da cultura do girassol, poucos trabalhos são encontrados sobre o tema, principalmente quando se compreende o período reprodutivo da cultura.

2.5 Teor de óleo do girassol

Os óleos são considerados nutrientes essenciais, tendo papel fundamental na nutrição humana e animal. Óleos e gorduras vegetais e animais são compostos por ácidos graxos saturados e insaturados, entretanto, apenas os óleos vegetais possuem alta percentagem de ácidos graxos insaturados, os quais são essenciais à saúde, pois não são sintetizados pelo organismo humano. De acordo com Akkaya (2018), o óleo de girassol não é somente um dos mais importantes óleos vegetais, mas também é o melhor em qualidade, por sua composição de ácidos, com 85% de ácidos graxos insaturados, destacando-se o ácido oleico (14-43%) e o linoleico, com 44-75% da fração insaturada.

Condições ambientais, como a radiação solar temperatura do ar, podem redundar em alterações morfológicas e fisiológicas no girassol, afetando o conteúdo e as características do óleo produzido. O peso individual e a concentração de óleo aumentam exponencialmente até um valor máximo com o aumento na interceptação da radiação solar na fase de enchimento de grãos (ANGELONI et al., 2021). Embora o efeito da temperatura nesse processo esteja longe de ser conclusiva, Izquierdo e Aguirrezábal (2008) encontraram resposta sigmoïdal na porcentagem de ácido oleico à temperatura, com a curva de crescimento se localizando entre as temperaturas de 15 e 25°C. O platô de temperatura em 25°C estaria relacionado ao tamanho de embriões (1.2%/°C de incremento na temperatura) para embriões de linhagens, porém, estudos sobre esses efeitos em híbridos são inconclusivos (ANGELONI et al., 2021). Roche et al. (2006) sugerem que as alterações na concentração de óleos podem estar relacionadas a diferentes épocas de semeadura, devido às diferenças na temperatura média do ar durante o enchimento de grãos, fator que também irá afetar a demanda evaporativa da atmosfera.

A disponibilidade de água no solo afeta o desenvolvimento do girassol, entretanto, a redução da disponibilidade de água no solo durante o florescimento e enchimento de grãos é crucial para o rendimento de grãos e, conseqüentemente, ao acúmulo e composição dos óleos

(EBRAHIMIAN et al., 2019), com significativa redução nos ácidos oleicos (IGBAL et al., 2005). Embora o girassol possa ser considerado uma planta tolerante ao déficit hídrico, há sensibilidade dessa cultura ao estresse térmico e hídrico dependendo do período de desenvolvimento em que a planta se encontra. Essa sensibilidade pode estar relacionada a uma ineficiência em regular a expansão foliar e a transpiração frente a uma redução na umidade do solo. Entretanto, essa sensibilidade não é a mesma para todas as fases, tampouco para todos os locais de cultivo, uma vez que, há uma forte correlação entre genótipos, épocas de plantio, densidade de plantas e local de cultivo (ECHARTE et al., 2019), em relação à resposta da produção de aquênios e óleos à disponibilidade de água,

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental

O estudo foi realizado na área experimental do Sistema Irriga[®], pertencente ao Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (29°43'S e 53°43'W, com altitude de 103 m). O clima da região segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida (KUINCHTNER; BURIOL, 2001; KOTTEK et al., 2006).

A área experimental apresenta solo classificado como um Argissolo vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2006). A caracterização físico-hídrica do solo na área experimental foi determinada por Báez (2017), no laboratório de análises físicas do solo do Sistema Irriga[®], cujos resultados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1– Parâmetros físicos e hidráulicos do solo da área experimental do Sistema Irriga[®]–DER/UFSM. Santa Maria – RS, 2020.

Prof. (cm)	Ds (g cm ⁻³)	Dp (g cm ⁻³)	Textura (%)			θ (cm ⁻³ cm ⁻³)		TAW (mm)
			Areia	Silte	Argila	CC	PMP	
0 - 10	1,41	2,54	35	44	21	0,27	0,119	15
10 - 25	1,37	2,59	37	45	18	0,28	0,112	25
25 - 55	1,38	2,61	36	45	19	0,30	0,117	54
55 - 85	1,31	2,65	20	32	48	0,42	0,191	39

Prof. = profundidade da camada (cm); Ds = Densidade aparente do solo (g cm⁻³); Dp = Densidade de partícula (g cm⁻³); θ = conteúdo volumétrico (cm³ cm⁻³) de água para a CC (obtida no campo), PMP (θ₁₅₀₀ kPa), obtida em laboratório e TAW = Total de água disponível no solo.

3.2 Descrição do experimento e delineamento experimental

O experimento foi conduzido durante o ano agrícola de 2019/2020, (novembro de 2019 a fevereiro de 2020), no interior de uma cobertura metálica móvel (*Rainout Shelter*), que apresenta área total de 740 m² (74x10m) e é composta de duas partes iguais sob trilhos de ferro, com cobertura metálica, que se movem por meio do acionamento por motores elétricos, permitindo a entrada da radiação solar e o resguardo de chuvas conforme seu manuseio, tendo assim, controle total da entrada da água precipitada na área experimental.

Os dados meteorológicos diários de precipitação, radiação solar e temperatura foram retirados de uma estação meteorológica automática localizada a 300 m da área experimental. O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizados, no esquema fatorial 2 x 4 com três repetições. Foram analisados os fatores cobertura do solo (com e sem palha), e quatro diferentes lâminas brutas de irrigação, com base na porcentagem do TAW (total de água disponível no solo). Nos tratamentos com cobertura do solo, utilizou-se palhada de trigo (*Triticum aestivum*) retirada de área próxima ao experimento, totalizando a quantidade de 4 Mg ha⁻¹ de massa seca em ambos os tratamentos que receberam cobertura do solo.

A semeadura do experimento foi realizada em 11 de novembro de 2019, de forma manual, a fim de obter maior uniformidade de plantas. Utilizou-se uma cultivar híbrida de girassol (ADV 5504), a qual teve população ajustada após a emergência das plântulas para 100.000 plantas ha⁻¹. Para semeadura do experimento utilizou-se espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,2 m entre plantas. A adubação de base foi realizada fundamentada na análise de solo para a área experimental e contou com 225 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 05-20-20. O restante da adubação nitrogenada (50 kg de Nitrogênio por hectare) foi distribuída a lanço junto à adubação boratada quando 50% das plantas atingiram o estágio V6. Para o fator lâmina irrigada, foi estabelecida uma lâmina fixa bruta de irrigação de 15 mm, que foi aplicada sempre que o Total de água disponível no solo, na profundidade efetiva das raízes da cultura, atingisse valores de 80%, 70%, 60% e 50% do TAW, totalizando ao final do experimento uma lâmina líquida de respectivamente 150,0 mm; 128,0 mm; 106,0 mm e 84,0 mm.

Quando as plantas atingiram o estágio V4 (com quatro folhas), os tratamentos de déficit foram aplicados; anteriormente, a aplicação dos tratamentos de déficit, todos os tratamentos foram irrigados de forma semelhante, para priorizar o bom desenvolvimento e estabelecimento da cultura no campo. A irrigação dos tratamentos foi realizada por meio de microaspersores do tipo bailarina, marca Tietze, com bocal de 2,18 mm, diâmetro molhado de 7 m, vazão de 65 l h⁻¹ na pressão de serviço de 10 mca, resultando em taxa de aplicação de 7,5 mm h⁻¹. Os

microaspersores foram distribuídos de forma espaçada em 3 metros entre aspersores, com altura média de 2 m.

3.3 Dados observados

3.3.1 Conteúdo de água no solo

O conteúdo de água no solo foi medido diariamente, durante todo o ciclo da cultura, de forma automática, através de sensores FDR (Frequency Domain Reflectometer), modelo CS-616, os quais são conectados a um multiplexador analógico de canais, modelo AM16/32 + datalogger modelo CR1000 (Campbell Scientific, Logan, UT, USA). As leituras foram realizadas e armazenadas em intervalos de 15 minutos, totalizando 96 registros diários. Cada unidade experimental conta com quatro sensores, sendo eles dispostos nas camadas de 0 a 0,10m; 0,10 a 0,25m e 0,25m a 0,55m. Para efeito de cálculo do balanço hídrico e manejo da irrigação, assumiu-se como umidade diária (θ , cm³/cm³), o valor do conteúdo de água medido pelos sensores às 23 horas, em cada camada de cada dia.

Os valores de água disponível no solo (ASW) foram obtidos pela diferença entre o conteúdo atual de água (θ) e o conteúdo de água no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) multiplicado pela espessura da camada ocupada pelas raízes das plantas (Z_r), conforme apresentado na equação 1:

$$ASW = 1000(\theta - \theta_{PMP})Z_r \quad \text{Eq. 1}$$

3.3.2 Determinações morfológicas, quantidade e qualidade de aquênios

A partir da semeadura do experimento, foram monitoradas variáveis morfológicas e fenológicas da cultura. Foram realizadas avaliações de: emergência e estande de plantas; data de mudança de estágio fenológico, considerada quando 50% das plantas da parcela atingirem o estágio em questão), seguindo a escala de desenvolvimento proposta por Schneiter e Miller (1981)); altura de plantas; largura e comprimento de folhas; número de folhas; e diâmetro médio do caule da planta perpendicular ao nível do solo. Com base nas medidas de largura das folhas amostradas, foi calculada a área foliar da planta, conforme modelo proposto por Maldaner et al. (2009):

$$AF = 1,7582 L^{1,7067} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde AF (cm²) é a área foliar da planta e L (cm) é a largura máxima da folha.

Também se avaliou a produtividade de grãos, a quantidade de óleo dos aquênios, massa de mil aquênios, diâmetro de capítulos e massa de aquênios por capítulos.

3.4 Balanço hídrico: Água disponível no solo

O conteúdo de água disponível no solo (ASW) foi calculado a partir da umidade volumétrica determinada em cada camada, subtraída da umidade volumétrica determinada no PMP e multiplicado pela espessura da camada, em mm. A umidade volumétrica diária (cm³ cm⁻³) de cada camada de solo foi considerada como sendo a verificada pelos sensores às 23 horas de cada dia. O TAW para todo o perfil (0-55 cm) foi considerado como o somatório do TAW em cada camada avaliada (tabela 1), totalizando 94 mm.

As perdas de água foram determinadas realizando-se o balanço hídrico do solo (BH) a partir da equação 3. Foram consideradas como entradas de água as irrigações (I) ou precipitações (P) e os componentes de escoamento superficial (RO), percolação profunda (DP), ascensão capilar (C) e fluxo subsuperficial de água (SF) foram, no caso deste estudo, desconsiderados. Assim, o BH foi determinado pela variação no armazenamento de água no solo (ΔA), a partir da contabilização das lâminas líquidas de irrigação (I) e precipitação pluvial que entraram na área do experimento, no conjunto de um dia, através da incorporação dos dados de umidade volumétrica registrados diariamente pelos sensores FDR.

$$BH = I + P - RO - DP + C \pm \Delta SF \pm \Delta A \quad \text{Eq.3}$$

Cabe destacar que para efeito de cálculo, as precipitações pluviométricas foram desconsideradas uma vez que o experimento foi conduzido sob uma estrutura móvel metálica, que impediu a entrada de água via precipitação. Dados referentes à cultura, como as datas e estádios de desenvolvimento das plantas, índice de área foliar, altura das plantas e profundidade do sistema radicular foram obtidos através de avaliações diárias realizadas durante a condução do experimento.

3.5 Estimativa dos coeficientes de cultura simples (K_c) e duais (K_{cb}) do girassol usando IAF e altura de plantas

O coeficiente de cultura (K_c) é uma fração da ET_o (ET_c/ET_o), podendo assumir limites superiores de 1,2 a 1,3, sendo governado pelo tipo, a quantidade e as condições da vegetação. Assim, segundo a aproximação de Allen e Pereira (2009), amplamente revista, calibrada e parametrizada por Pereira et al. (2020; 2021), o coeficiente de cultura basal (K_{cb}), representando primariamente a transpiração da cultura, pode ser estimado em função de um coeficiente de densidade (K_d), como uma função do IAF ou da fração de cobertura (fc), como segue:

$$K_{cb} = K_{c\ min} + K_d(K_{cb\ full} - K_{c\ min}) \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: $K_{c\ min}$ representa o valor médio de K_c da superfície não vegetada (exposta) do solo, refletindo a frequência de umedecimento, o tipo de solo e a ET_o ; K_d é o coeficiente de densidade (equação 6 e 7); e $K_{cb\ full}$ é o valor de K_c da cultura para condições de máximo recobrimento do solo (ou seja, uma cultura crescendo em condição padrão de cultivo) obtido pela equação 5.

$$K_{cb\ full} = Fr \left(\min \left(1.0 + 0,1h.1.20 + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0.3} \right) \right) \quad \text{Eq. 5}$$

Em que: Fr (0–1) é um fator de ajuste relativo ao controle estomático da vegetação, a função *min* assume que 1,20 é o limite superior para $K_{cb\ full}$ antes do ajuste para o clima, h (m) é média da máxima altura da cultura, u_2 ($m\ s^{-1}$) é a velocidade média do vento a 2 m de altura, UR_{\min} (%) é a umidade relativa mínima do ar

Como proposto por Allen e Pereira (2009), quando valores de IAF ($m^2\ m^{-2}$) observados estiverem disponíveis, o K_d pode ser estimado como segue:

$$K_d = (1 - e^{[-0,7IAF]}) \quad \text{Eq. 6}$$

Alternativamente, quando valores de IAF observados não estiverem disponíveis, o K_d pode ser estimado a partir de observações de fc , os quais podem ser facilmente obtidos por fotografias digitais, retiradas dentro de uma fração da parcela, de forma a abranger duas linhas de plantas. As imagens devem ser retiradas sempre na mesma altura, com inclinação de 70° em

relação à horizontal, de forma a englobar a máxima visualização da parcela e minimizar os efeitos externos à área de plotagem. O horário para retirada das fotos deve ser entre 14h00min e 16h00min, para evitar influência da sombra do dossel da cultura. Posteriormente, ferramentas como o Canopeo (PATRIGNANI e OCHSNER, 2015) ou o ImageJ (NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH, EUA), podem ser usados para mapear a f_c em função da área correspondente ao dossel, dentro da área de plotagem. Assim, o K_d a partir da f_c pode ser obtido conforme a equação 6:

$$K_d = \min \left(1, M_L f_{c\text{ eff}} \cdot f_{c\text{ eff}}^{\left(\frac{1}{1+h}\right)} \right) \quad \text{Eq. 7}$$

Em que: $f_{c\text{ eff}}$ é a fração efetiva de cobertura do solo pela vegetação, ao meio-dia; M_L é um fator multiplicador que descreve o efeito da densidade do dossel no sombreamento e na evapotranspiração relativa da área sombreada ou coberta, o qual simula os limites do fluxo de água através das raízes e folhas das plantas e; h é altura da planta.

O K_c para o período intermediário ($K_{c\text{ mid}}$), por sua vez, pode ser estimado usando aproximações baseados no clima, ou seja, para as condições em que a umidade relativa mínima do ar (RH_{min}) e a velocidade do vento (u_2) forem diferentes daquelas condições padrão estabelecidas nas tabelas de K_c da FAO, para os períodos iniciais ($K_{c\text{ ini}}$), intermediário ($K_{c\text{ mid}}$) e final ($K_{c\text{ end}}$), como segue:

$$K_{c\text{ mid} / \text{end}} = K_{c\text{ mid} / \text{end}} (\text{tabelado}) + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad \text{Eq. 08}$$

O K_c máximo ($K_{c\text{ max}}$) ou o máximo valor que o K_c pode assumir, depois de uma chuva ou irrigação, que é governado por fatores meteorológicos, sobretudo a disponibilidade de energia e de umidade, pode variar de 1.05 a 1.30 (ALLEN et al., 1998; 2005), é calculado conforma a expressão 9:

$$K_{c\text{ max}} = \max \left(\left\{ 1.2 + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \right\}, \left\{ K_{cb(\text{Tabelado})} + 0.05 \right\} \right) \quad \text{Eq. 09}$$

O coeficiente de cultura atual ou real ($K_{c\text{ act}}$) para as condições reais de cultivo, ou seja, sujeito aos estresses ambientais (hídrico ou de salinidade), pode ser estimado pela equação a seguir, onde o K_e (coeficiente de evaporação) pode ser estimado pela fração de superfície

sombreada pelo dossel (Allen et al., 1998), sendo mais facilmente obtido por modelação do balanço hídrico do solo (Rosa et al., 2012). Assim, o K_c atual ($K_{c\text{ act}}$) é definido por:

$$K_{c\text{ act}} = K_s \cdot K_{cb} + K_e \quad \text{Eq. 10}$$

Em que: K_s é o coeficiente de stress, associado ao esgotamento da água no solo, ou seja, quando a umidade do solo decresce da linha da água facilmente disponível no solo (ou depleção para não stress), sendo associado somente ao K_{cb} , pois é atribuído a uma redução na transpiração.

A curva de K_c e K_{cb} pode ser melhorada, quando se aplica a soma térmica ou os graus-dia acumulados aos valores de K_c e K_{cb} obtidos pelas equações acima, para os diferentes estádios de desenvolvimento. Nesse trabalho, a soma térmica foi calculada a partir da temperatura média diária (média de todas as observações diária), subtraída de uma temperatura base (T_b). Nesse trabalho, a temperatura base inferior usada foi de 7.2°C (SANGOI e SILVA, 1986; ROBINSON, 1971). A temperatura ótima (T_{opt}) e máxima (T_{max}) foram de 28 e 40°C, respectivamente, conforme Aiken (2005).

3.6 Teor de óleo dos aquênios

Para análise do teor de óleo dos aquênios do girassol, foram realizados procedimentos laboratoriais no LAPE – Laboratório de Engenharia de Processos Agroindustriais – situado na Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul. A determinação do óleo (lipídios) seguiu a método de extração de Soxhlet, no qual o processo é eminentemente gravimétrico e está baseado na perda de peso do material submetido à extração com solvente (n-Hexano). As amostras foram colocadas em cartuchos de um aparelho extrator de Soxhlet e inseridos na câmara de extração. Sob a câmara de extração, um balão com 200 mL de solvente foi posicionado no centro de uma manta de aquecimento, que permaneceu ligada por 6 horas, com temperatura capaz de manter a velocidade de gotejamento de solvente de uma gota a cada dois segundos.

Sobre a câmara de extração, uma segunda câmara permite a passagem de água resfriada a 8 °C, a qual atua como condensador. Desta forma, quando o solvente atinge seu ponto de ebulição, entra em contato com a parede resfriada, liquidifica e retorna para a câmara de extração, sendo repetido este ciclo durante todo o período de extração. Após finalizado o procedimento, o balão contendo o solvente e o óleo extraído é armazenado por um dia e

posteriormente feita a extração do solvente através de um evaporador modelo Rotary Evaporator RE - 52A. A quantificação do teor de óleo foi realizada utilizando a Equação 11:

$$Lipídios = \frac{(Mbo - Mb) \times 100}{A} \quad \text{Eq. 11}$$

Em que: Mbo: massa do balão com óleo (g); Mb: massa do balão (g); A: massa da amostra (g).

3.7 Análise estatística

Os resultados de produtividade, componentes de produtividade e teor de óleo do girassol foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F para identificar as diferenças entre médias de tratamentos por meio do Software estatístico SISVAR (DE VILLA, 2020). Por não haver interação entre os fatores analisados, as variáveis necessitaram ser analisadas separadamente, submetendo-as ao teste de Tukey em nível significância de 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$) e análise de regressão conforme a natureza da variável analisada.

Também se avaliou o coeficiente de determinação (R^2), conforme a equação 12.

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \right]^{0.5}} \right\}^2 \quad \text{Eq. 12}$$

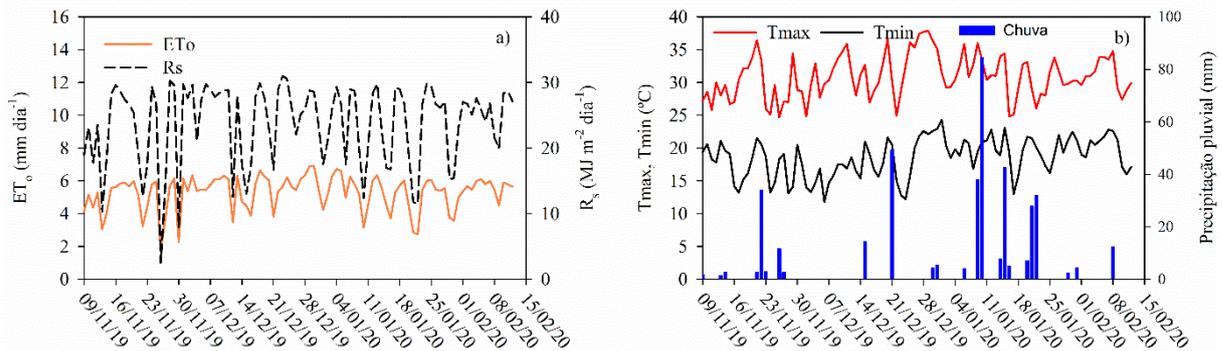
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dinâmica da água no solo e fatores meteorológicos

Na figura 1 são apresentados os dados meteorológicos diários observados em estação meteorológica automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (localizada a 300 m da área experimental) durante a execução do experimento. A evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) foi estimada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). As médias mensais da ET_0 foram de 4,8; 5,7; 5,1 e 5,6 mm dia^{-1} , para os meses de novembro (20 dias), dezembro, janeiro e fevereiro (12 dias), respectivamente, valores superiores às médias mensais para esses períodos (HELDWEIN et al., 2010). Tanto a média das mínimas, como a média das máximas se mantiveram ligeiramente acima das médias normais ($\sim 2^\circ\text{C}$) em novembro e

dezembro. Janeiro foi o mês mais chuvoso (281 mm), embora esse fato não tenha afetado a radiação solar e a ET_o , caracterizando-se como chuvas típicas de verão, de alta intensidade e curta duração

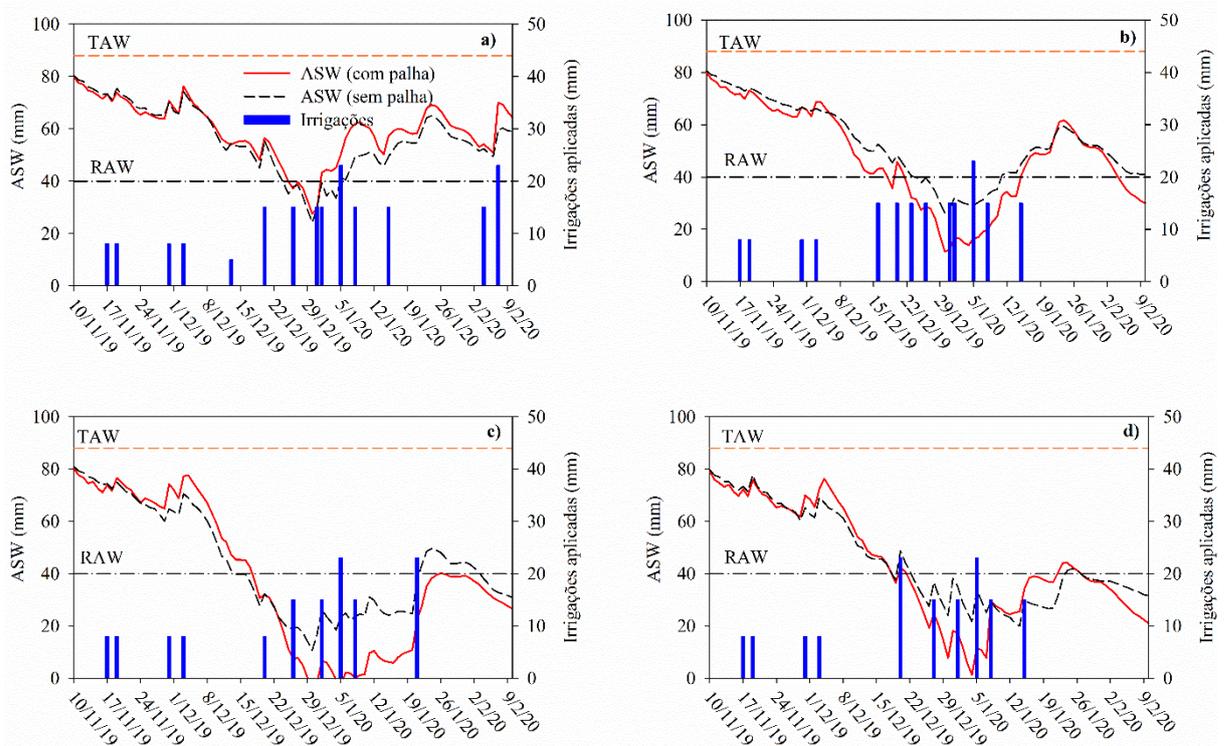
Figura 1. Dados diários da evapotranspiração de referência (ET_o), radiação solar (R_s) (a), temperatura máxima (T_{max}), Temperatura mínima (T_{min}) e precipitação pluvial (b) registradas durante o período de condução do experimento.



Na figura 2 é apresentada a dinâmica da água no solo (0-55 cm) durante o ciclo de desenvolvimento do girassol, para os tratamentos com 80(a), 70(b), 60 (c) e 50% do TAW, com e sem palha na superfície do solo.

Observa-se que, em todos os tratamentos, a linha do ASW observado se desviou fortemente do limite de ASW proposto para cada tratamento de irrigação (80, 70, 60 e 50% do TAW). Essa discrepância pode ter ocorrido porque o balanço hídrico foi feito de forma compartimentalizada (por camadas), fato que, possivelmente tenha levado a interpretação equivocada da profundidade efetiva do sistema radicular. Além disso, a uniformidade de aplicação de água da microaspersão, para as condições do experimento, foi muito influenciado pelo vento e pressão de operação do sistema, o que pode ter levado aos equívocos na reposição de lâmina, gerando um déficit cumulativo de água no solo. O girassol é considerado um sistema tolerante ao déficit e, embora tenha um sistema radicular pivotante, em geral, concentra todo o sistema radicular próximo à superfície. López-Urrea et al. (2014), em dois anos de experimentos com girassol em lisímetros de pesagem, não observaram extração de água abaixo dos 35 cm, definindo essa camada como o Z_r para o cálculo do balanço hídrico diário.

Figura 2. Dinâmica da água disponível no solo (ASW), para os tratamentos 80(a), 70(b), 60 (c) e 50% do TAW, com e sem resíduos na superfície do solo, durante o período de condução do experimento em Santa Maria/RS, Brasil. Irrigações aplicadas em cada tratamento e as linhas do TAW (total de água disponível) e RAW (água facilmente disponível) também são apresentadas.



O RAW é a linha limítrofe para a ocorrência de stress ($RAW=p.TAW$), onde p é a depleção permitida para a não ocorrência de stress para as plantas. Observando a linha do ASW, percebe-se que, em todos os tratamentos, ocorreram períodos de stress, o que pode ter contribuído para uma menor resposta do girassol à irrigação. A não observância de diferenças estatísticas entre os tratamentos (discutido na seção 4.4), pode estar relacionada a esse fator. Além disso, elevada ascensão capilar foi observada em meados de janeiro (entre 08 e 25), devido a um acumulado de 275 mm (figura 1) de chuva. Percebe-se um retardamento na ascensão capilar, nos tratamentos mantidos a 70 (b), 60(c) e 50%(d) do TAW, ao contrário do tratamento mantido a 80% do TAW (a). Isso ocorre porque a ascensão não se manifesta em solos secos, portanto, houve a necessidade de, gradativamente saturar o solo, para que o processo ocorresse.

A entrada de água por capilaridade é difícil de mensurar, necessitando-se de modelos de balanço hídrico como o SIMDualKc (ROSA et al., 2012) ou o FAO-AquaCrop (STEDUTO et al. 2009), para incorporar esse parâmetro ao balanço hídrico diário.

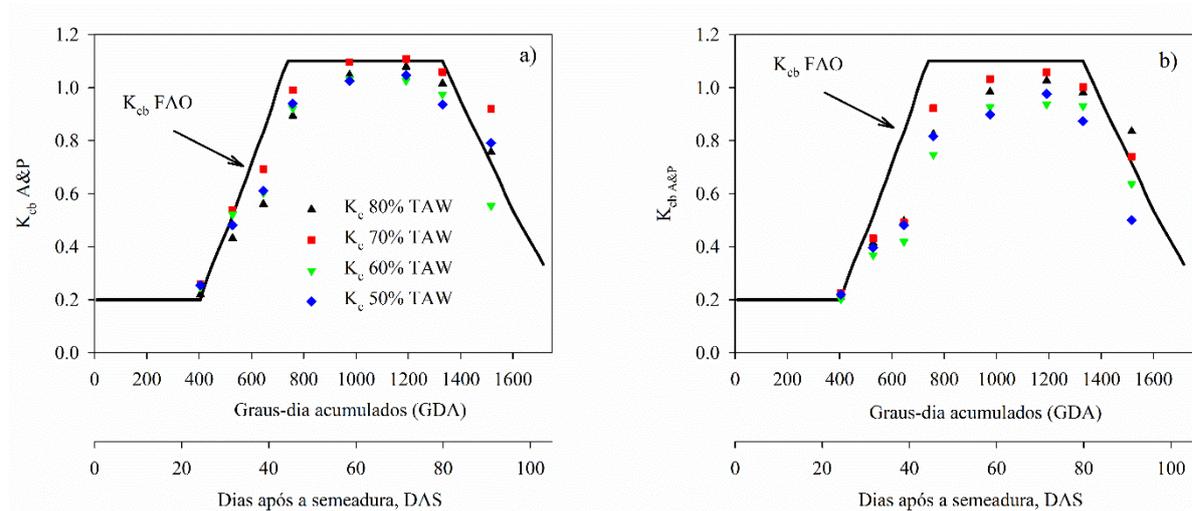
4.2 Estima do K_c e K_{cb} a partir do IAF e altura de plantas

O coeficiente de cultura de base (K_{cb}), relativo à transpiração das plantas e estimado pela aproximação Allen e Pereira (2009) usando o IAF e altura de plantas, aplicando as equações 4 a 10, é apresentado na figura 3 (a e b). Observa-se que os valores de K_{cb} estimados pela aproximação A&P (ora denominados $K_{cb\ A\&P}$) apresentaram um bom ajuste em relação à curva de K_{cb} de quatro etapas, determinados em medições lisimétricas por López-Urrea et al., (2014) e posteriormente referendados pela FAO (PEREIRA et al., 2020), sobretudo para o girassol cultivado em solo com “mulch” (Figura 3a). A relação das quatro etapas ou fases em GDA apresenta avanços em relação à curva da FAO, normalmente apresentada em dias após a semeadura e/ou dias do ano. Para os tratamentos sem mulch em superfície, os valores de K_{cb} foram menores, principalmente no período de crescimento rápido e intermediário, em resposta a uma menor área foliar e altura de plantas nesses tratamentos.

O período inicial (0 a 400 GDA) é um período crítico à evapotranspiração das culturas, porque representa uma tênue fração de cobertura pelo dossel ($IAF \leq 10\%$); nesse estudo, o final do período inicial do $K_{cb\ ini}$ ocorreu com um acúmulo térmico de 460 GDA. López-Urrea et al. (2014), em dois anos de estudos visando aferir os coeficientes de evaporação (K_e) e transpiração (K_{cb}), encontraram valores de K_{cb} de 0,10 para o período inicial ($K_{cb\ ini}$), para o girassol semeado em meados de abril e junho, 2009 e 2011, em Córdoba, na Espanha, encontrando valores de K_{cb} nulos entre a semeadura e emergência. A FAO (PEREIRA et al., 2020) recomenda o valor inicial de 0,20, conforme apresentado na figura 3. Entretanto, como o K_{cb} é relacionado à transpiração das plantas e, na ausência de IAF e altura do dossel que implique em consumo de água, recomenda-se precaução para o uso de valores iniciais superiores a 0,10.

Para o girassol cultivado em ambiente sem palha na superfície e com os mesmos tratamentos de irrigação, o K_{cb} apresentou uma subestimação em relação à curva padrão, indicando que o menor crescimento e desenvolvimento da planta representou mais área de solo (Figura 12, Apêndice) exposta às condições atmosféricas e, portanto, maiores perdas por evaporação durante todo o período.

Figura 3. Valores do coeficiente de cultura dual, K_{cb} , para o girassol submetido a diferentes estratégias de irrigação, com (a) e sem palha (b) na superfície do solo. Os símbolos representam os valores estimados a partir da aproximação A&P e a linha contínua representa a curva de quatro etapas (K_{cb} FAO, adaptado de LÓPEZ-URREA et al., 2014).

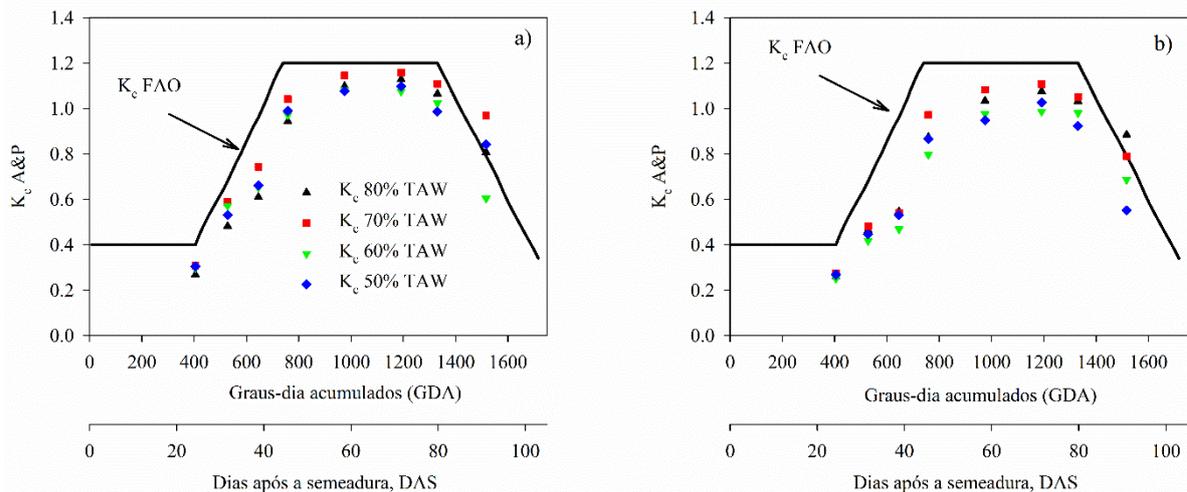


O coeficiente de cultura (K_c) representa a fração da ET_o que é devida a evapotranspiração da cultura (ET_c), incorporando, portanto, a evaporação do solo e a transpiração em um coeficiente único ($ET_c = K_c * ET_o$), sendo o método universalmente usado para estimar a ET_c . Usando a aplicação de A&P, o K_c para o período intermediário e final ($K_{c\ mid/end}$ e/ou $K_{c\ max}$) e obtido pelas equações 8 e 9, ou seja, um valor de 0,05 é incorporado ao $K_{cb\ A\&P}$ estimado a partir do IAF e altura. Assim, o K_c apresenta um comportamento semelhante ao K_{cb} , porém, com valores acrescidos da evaporação do solo. Percebe-se que a aproximação $K_{c\ A\&P}$ tende a subestimar os valores de K_c para o período inicial, crescimento rápido e intermediário, em relação aos valores obtidos por LÓPEZ-URREA et al. (2014) em medidas lisimétricas e usados pela FAO como padrão. No trabalho de López-Urrea, a E_s (evaporação do solo) foi estimada usando medidas lisimétricas e incorporando a fração de cobertura no dossel. Assim, o K_c foi obtido pela soma do $K_{cb} + K_e$ (coeficiente de evaporação). O K_e resulta da razão entre a E_s/ET_o , refletindo, portanto, a ação dos fatores meteorológicos sobre a evaporação do solo.

Em trabalhos de Miao et al. (2016) na Mongólia Chinesa, os autores encontraram valores de K_{cb} e K_c superiores aos de López-Urrea et al. (2014), para os períodos intermediário e final, quando simularam o balanço hídrico do solo usando o modelo SIMDualKc. Em ambos os trabalhos (MIAO et al., 2016; LÓPEZ-URREA et al., 2014), a evaporação da água representou grande parte da ET_c , sobretudo no período inicial, embora também tenha ocorrido

substancial evaporação em outras fases do ciclo, o que pode ser atribuído a menor fração de cobertura do solo, devido a menor altura do dossel e IFA, fato que é corroborado neste trabalho.

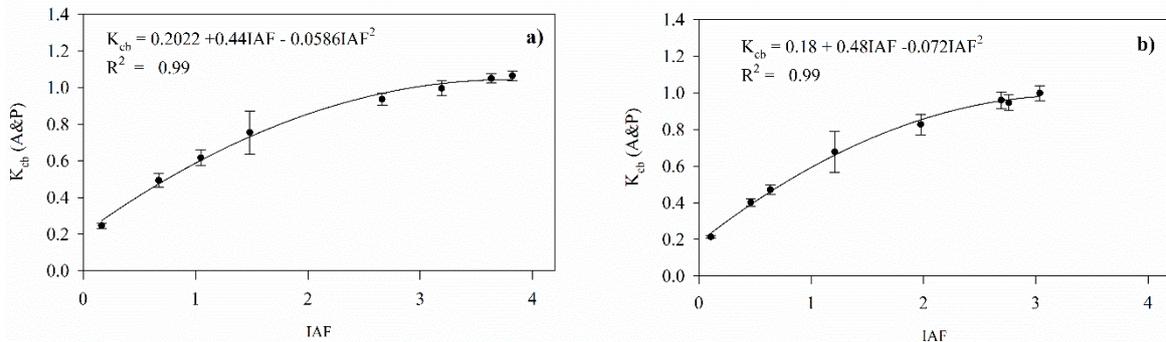
Figura 4. Valores do coeficiente de cultura simples, K_c , para o girassol submetido a diferentes estratégias de irrigação, com (a) e sem palha (b) na superfície do solo. Os símbolos representam os valores estimados a partir da aproximação A&P e a linha contínua representa a curva de quatro etapas (K_c FAO, adaptado de LÓPEZ-URREA et al., 2014).



A relação do K_{cb} A&P com o IAF observado, para solo com e sem palha, é apresentado na figura 5. Obteve-se resposta quadrática do K_{cb} A&P em relação ao IAF observado, o que também foi observado por Medeiros et al. (2016) para a cultura do feijão. Os mesmos autores, em trabalho realizado em 2001, haviam encontrado relação cúbica do IAF observado com o K_{cb} obtido em medidas lisimétricas. Por outro lado, Jiang et al (2014) encontraram relação exponencial entre o K_c e K_{cb} e o LAI para milho em diferentes populações de plantas. Pelos resultados aqui apresentados, parece razoável assumir que há um K_c - K_{cb} máximo, quando o IAF for máximo e uma curva descendente desses coeficientes à medida que a planta incrementa a senescência das folhas.

O padrão do comportamento do K_{cb} foi semelhante para os tratamentos com e sem palha, com valores ligeiramente menores para o tratamento sem palha, indicando que, embora não tenha sido observada significância estatística entre os níveis desse fator, a alteração fenotípica resultou em diferenças na altura de plantas e IAF, que se refletiu nos valores de K_{cb} (figura 5) e K_c (não apresentado). Como não se observou diferenças estatísticas no IAF entre as lâminas, utilizou-se a média dos tratamentos, em cada data de avaliação.

Figura 5. Relação do K_{cb} A&P com o IAF observado, para diferentes estratégias de irrigação no girassol, com (a) e sem palha (b) na superfície do solo.



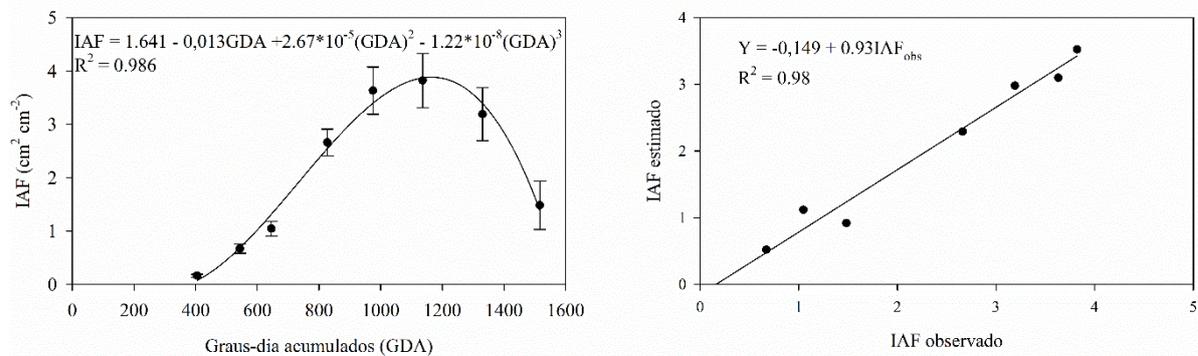
4.3 Relação do IAF, coeficientes de cultura com os graus-dia acumulados

A relação do IAF com o GDA, com palha na superfície, é apresentada na figura 6. Observou-se resposta cúbica do IAF com o incremento dos graus-dia, com um rápido incremento entre os estádios V6 (405 GDA) e V12 (660 GDA), segundo a escala de Schneiter e Miller (1981). Aiken (2005) encontrou resposta linear da fenologia do girassol à soma térmica na fase vegetativa, enquanto, na fase reprodutiva, essa resposta passou a ser exponencial, para uma gama de híbridos avaliados. O incremento de IAF representa uma maior acumulação de massa seca, com influência na produção.

O IAF máximo foi obtido no estágio de botão floral visível (R1), com soma térmica acumulada de 1100 GDA. A maturação fisiológica foi observada com um acúmulo térmico de 1600 GDA, procedendo-se a colheita com 1725 GDA. A literatura apresenta poucos trabalhos que relacionam o IAF aos GDA; entretanto, essa relação pode trazer importantes contribuições com relação à melhor época de semeadura, pois se estima-se que a floração deva ocorrer próximo do fotoperíodo máximo (solstício de verão, no Hemisfério Sul) (Aiken, 2005). Dias longos durante a fase vegetativa podem reduzir a duração do período reprodutivo, resultando em menor produção de aquênios (DE LA VEGA e HALL, 2002).

A relação entre o IAF estimado pela equação cúbica e o IAF observado apresentou um bom ajuste, com R^2 de 0,98, indicando que o parâmetro GDA pode ser utilizado para estimar o IAF e os diferentes estádios do girassol.

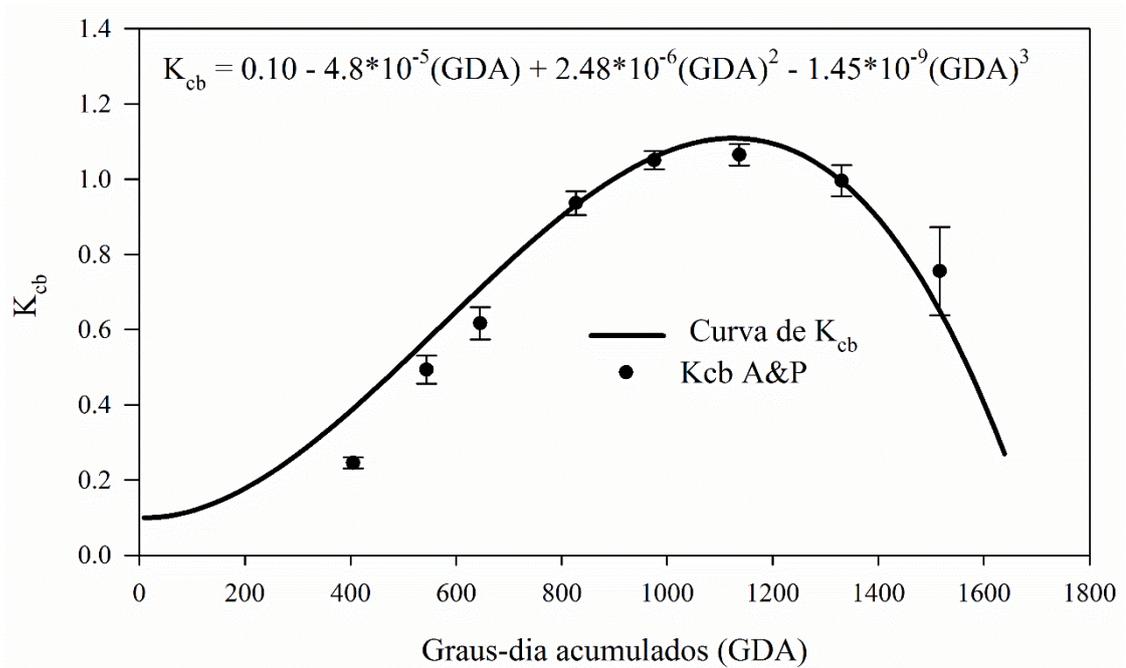
Figura 6. Relação IAF observado e os graus-dia acumulados do girassol, para diferentes estratégias de irrigação no girassol, com (a) na superfície do solo. A relação linear entre o IAF estimado pela equação e o IAF observado é apresentado em b.



A relação entre o K_{cb} e os GDA é apresentada na figura 7. Como comentado anteriormente, o K_{cb} representa a resposta fenotípica da cultura às condições de cultivo, sobretudo a disponibilidade hídrica. Assim, dada a relação entre o IAF e o GDA, é razoável associar o K_{cb} à soma térmica, ou seja, o acúmulo térmico pode ser associado ao crescimento e desenvolvimento da planta, sem a necessidade de se fazer inúmeras observações ‘in situ’ desses parâmetros. Inicialmente, usou-se os K_{cb} recomendados pela FAO (PEREIRA et al., 2020), para os principais estádios de desenvolvimento, dentro da curva de quatro etapas da FAO, gerando-se uma primeira aproximação K_{cb} -GDA. Posteriormente, ajustou-se o valor inicial de K_{cb} para 0,10, segundo López-Urrea et al. (2014), uma vez que, a soma térmica necessária para que o girassol atinja 10% de IAF é superior a 400 GDA, indicando pouca contribuição da transpiração da planta nesse período inicial (até V6). Obteve-se resposta cúbica do K_{cb} em relação ao GDA, indicando a significância dos parâmetros morfológicos e fisiológicos da planta na transpiração e, por consequência, no K_{cb} .

Os resultados evidenciam, ainda, uma superestimação dos valores de K_{cb} para o período inicial e de crescimento rápido e uma leva subestimativa para o período final, ou seja, no K_{cb}_{end} , comparado aos K_{cb} obtidos pela aproximação A&P (2009). Neste trabalho, observou-se rápida aceleração da senescência das plantas, indicando um K_{cb} próximo a 0,8 na fase final, com um IAF aproximado de 1,5, enquanto López Urrea et al. (2014) e Miao et al. (2016) derivaram K_{cb} de 0,71 e 0,61, respectivamente. Na maturação fisiológica, López-Urrea et al. (2014) encontraram valores iguais ao período inicial, pela ausência de parte verde nas plantas nesse período.

Figura 7. Curva do K_{cb} estimada com os graus-dia acumulados do girassol, para diferentes estratégias de irrigação no girassol. A linha é a curva de ajuste os símbolos representam o K_{cb} A&P.



O uso dos GDA para estimar os coeficientes de cultura (K_c e K_{cb}) representa um importante avanço no sentido de melhorar a estimativa da ET_c em diferentes condições de cultivo (local, época de semeadura, densidade de plantas, estresses abióticos ou bióticos). De acordo com Petry et al. (2021) e Pereira et al. (2015), as estimativas do requerimento hídrico (ET_c) das culturas pode ser melhorada relacionando-se os GDA aos coeficientes de cultura, visando relacionar esses coeficientes aos estádios de desenvolvimento, nas diferentes condições de cultivo.

4.4 Componentes do rendimento e produção do girassol sob diferentes estratégias de irrigação e manejo da palhada

Embora o girassol possa ser considerado altamente responsivo a soma térmica, conforme dados observados, assumindo a temperatura basal inferior de 7,2°C (SANGOI e SILVA, 1986) e as temperatura ótima e máxima de 28 e 40°C, respectivamente (AIKEN, 2005), é possível constatar que a temperatura não foi um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento do girassol. Ainda que seja possível observar grandes precipitações durante o período de desenvolvimento do experimento, cabe destacar que não houve entrada de chuva por precipitação pluviométrica.

Estatisticamente, os fatores cobertura do solo (com e sem palha) e lâmina líquida (mm), não apresentaram interação significativa, sendo necessário realizar a análise de ambos os fatores de forma isolada. Os resultados da análise da variância das variáveis analisadas, as quais se realizou a análise de regressão e teste de médias podem ser observados nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Resultados da análise de variância das variáveis analisadas, coeficiente de variação (CV%), equações e coeficiente de determinação (R^2) para a análise de regressão considerando apenas lâmina líquida irrigada.

Variáveis analisadas					
QM	MMA	Prod.	DC	MAC	Teor de óleo
Tratamento	19,508	470232,05	32,790	622,134	691,4
Erro	13,667	335775,5	3,702	93,79	204,7
Fc	1,427	1,40	8,858	6,63	3,4
Fr>Fc	0,264	0,272	0,00	0,00	0,039
CV (%)	8,90	33,54	14,90	44,5	29,87
Equação	ns	ns	-	Fig. 8b	Y = 90,91-0,37X
R^2	-	-	0,14	0,75	0,95

QM: quadrado médio da análise da variância, MMA: massa de mil aquênios; Prod.: produtividade de grãos; DC: diâmetro do capítulo; MAC: massa de aquênios por capítulo.

Para a variável analisada massa de mil aquênios, os resultados observados apontam não haver diferença significativa por meio do teste de regressão a 5% de significância, onde a média das diferentes lâminas líquidas foi de 41,51 gramas. A inexistência de significância da variável massa de mil aquênios possivelmente se deu a ocorrência de períodos de stress em todos os tratamentos, o que pode ter contribuído para uma menor resposta do girassol à irrigação.

Tabela 3. Resultados obtidos da análise de variância das variáveis analisadas, coeficiente de variação (CV%), equações e coeficiente de determinação (R^2) para o teste de médias, considerando a cobertura ou não do solo.

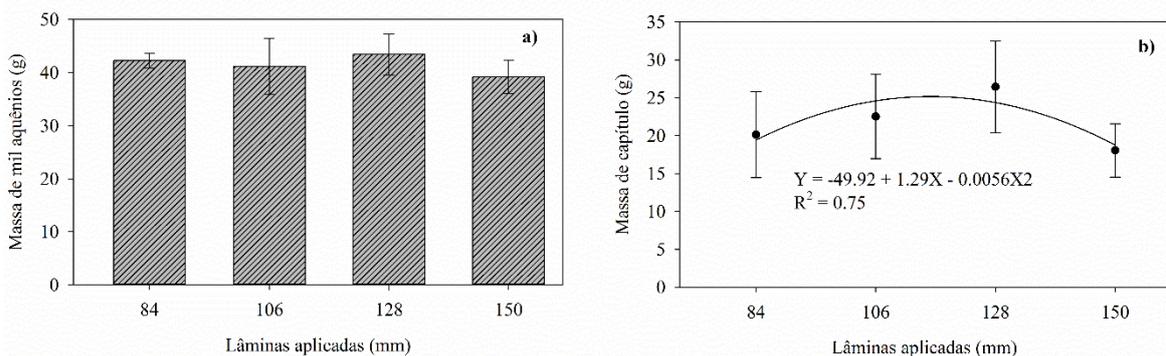
Variáveis analisadas					
QM	MMA	Prod.	DC	MAC	Teor de óleo
Tratamento	43,16	3073437,7	4,59	2041,9	16,67
Erro	11,54	2957576,6	3,72	83,41	196,65
Fc	3,74	16,62	1,23	24,48	0,085
Fr>Fc	0,071	0,001	0,268	0,00	0,774
CV (%)	8,18	24,89	14,95	41,92	29,27

QM: quadrado médio da análise da variância, MMA: massa de mil aquênios; Prod.: produtividade de grãos; DC: diâmetro do capítulo; MAC: massa de aquênios por capítulo.

Por ser considerado um componente direto de produtividade, a não diferenciação da variável massa de mil aquênios pode ser corroborada pela também não diferenciação estatística

da produtividade, conforme demonstrado na figura 9. Embora a MMA não tenha diferido estatisticamente, a média da variável está dentro do encontrado na literatura conforme observado por Dalchiavon et al. (2015), destacando a conformidade dos valores obtidos para massa de mil aquênios.

Figura 8. Massa de Mil Aquênios (MMA) e Massa de Capítulo do girassol cultivar ADV 5504 submetido a diferentes lâminas brutas de irrigação. Santa Maria - RS, 2020.



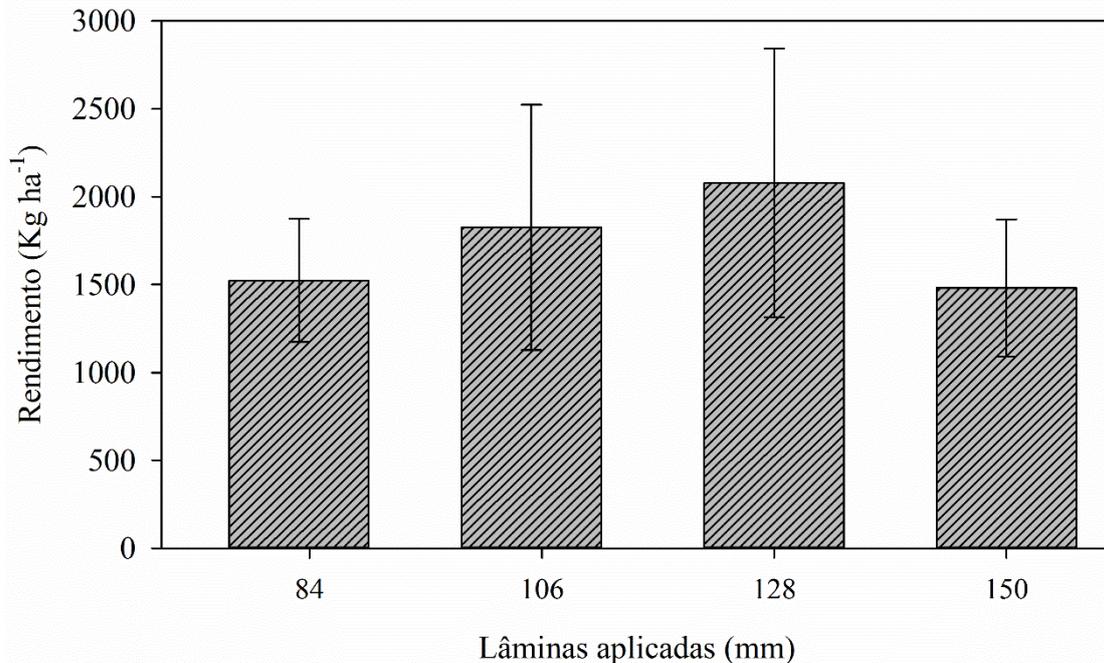
Com base nos resultados observados para a variável massa de aquênios por capítulo, para a qual se obteve significância estatística, o ponto de máxima massa de capítulo foi observado com lâmina líquida de 116 mm, correspondendo a 64,47 % do TAW. Próximo a esse valor, com relação aos diferentes níveis de disponibilidade hídrica avaliados, a maior massa de aquênios por capítulo foi observada no tratamento 128 mm de lâmina líquida, ou 70% do TAW, correspondendo ao valor médio de 26,44 gramas.

Embora Taiz et al. (2017) tenham sugerido que a disponibilidade hídrica está intimamente ligada ao crescimento e desenvolvimento de uma planta, os resultados obtidos no presente estudo demonstram que o menor valor médio de massa de aquênios por capítulo (18,06 g) foi observado com a maior disponibilidade hídrica, fato que pode ter relação com o baixo acúmulo de fotoassimilados nos aquênios, corroborando os resultados observados para massa de mil aquênios.

Conforme observado na figura 9, para a variável produtividade não foi observada diferença significativa com base na análise de variância. Os resultados obtidos apontam média de produtividade de 1727,68 kg ha⁻¹ entre os tratamentos. O fato da não diferenciação estatística pode ser atribuída ao bom crescimento e desenvolvimento da cultura, mesmo nos tratamentos de menor lâmina líquida. No presente estudo a maior produtividade do girassol, independente da cobertura ou não do solo, se deu com 128 mm de lâmina líquida correspondente a 70% do TAW. Ainda que estatisticamente a produtividade do girassol não tenha diferido nos diferentes

níveis de disponibilidade hídrica do solo, foi possível observar aumento de produtividade de 597,3 kg ha⁻¹ da menor produtividade para a maior, variando apenas a disponibilidade hídrica.

Figura 9. Rendimento de aquênios do girassol (cultivar ADV 5504) submetido a diferentes estratégias de irrigação. Santa Maria – RS, 2020.

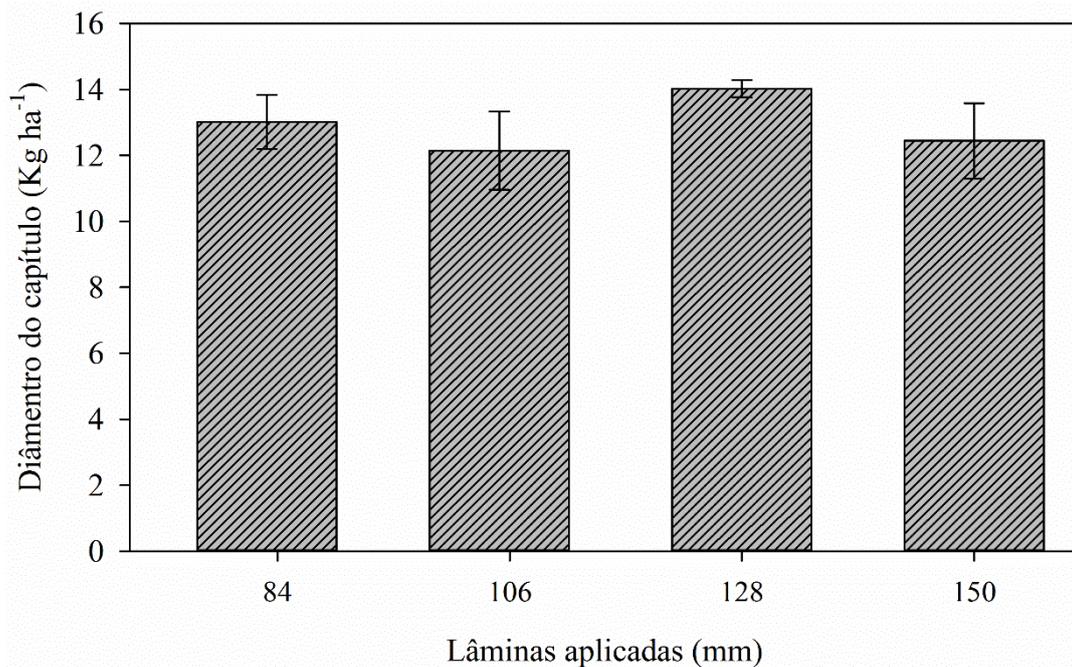


Para o tratamento com lâmina líquida de 128 mm, os valores de produtividade observados foram similares aos obtidos por Oliveira et al. (2016) que foi de 2225 kg ha⁻¹ para a cultivar avaliada. Em parte, a baixa produtividade observada nos tratamentos, pode ser atribuída a densidade populacional utilizada no presente estudo, uma vez que não houve respostas significativas da produtividade ao incremento na disponibilidade hídrica. Como observado por Louse (2016), que descreve que a ocorrência de estresses causados por déficit ou por excesso hídrico é prejudicial ao crescimento e à produtividade do girassol, o padrão de crescimento das plantas é alterado e a produtividade é reduzida com o aumento da intensidade correspondente ao estresse.

Tendo em vista esse comportamento, era esperado que os maiores valores de componentes de produtividade do girassol e da própria produtividade fossem obtidos com a menor restrição hídrica, sem a presença de déficits, conforme observado por Viana et al. (2012), que avaliando lâminas de irrigação e cobertura do solo na cultura do girassol sob condições semiáridas, observaram que a maior produtividade da cultivar Catisol 01 ocorreu sob condições de elevada disponibilidade hídrica.

Embora tenha sido observada diferença estatística para a variável analisada diâmetro de capítulo (DC), a o baixo valor obtido de coeficiente de determinação R^2 (0,14) indica a baixa representatividade da equação obtida. Dessa forma, optou-se por analisar os valores médios dos tratamentos para o fator lâmina líquida. Dentre os tratamentos avaliados, com relação à disponibilidade hídrica, o maior diâmetro do capítulo pode ser observado no tratamento que recebeu 128 mm de lâmina líquida irrigada (70% do TAW), diferindo do encontrado por Soares et al. (2015), que observaram o aumento do diâmetro do capítulo do girassol com o aumento da disponibilidade hídrica para a cultura. Em parte, atribui-se o baixo coeficiente de determinação R^2 , a grande desuniformidade dos capítulos, mesmo com amostras representativas da unidade experimental.

Figura 10. Diâmetro de capítulo (DC) do girassol cultivar ADV 5504 submetido e diferentes lâminas brutas de irrigação. Santa Maria – RS, 2020.

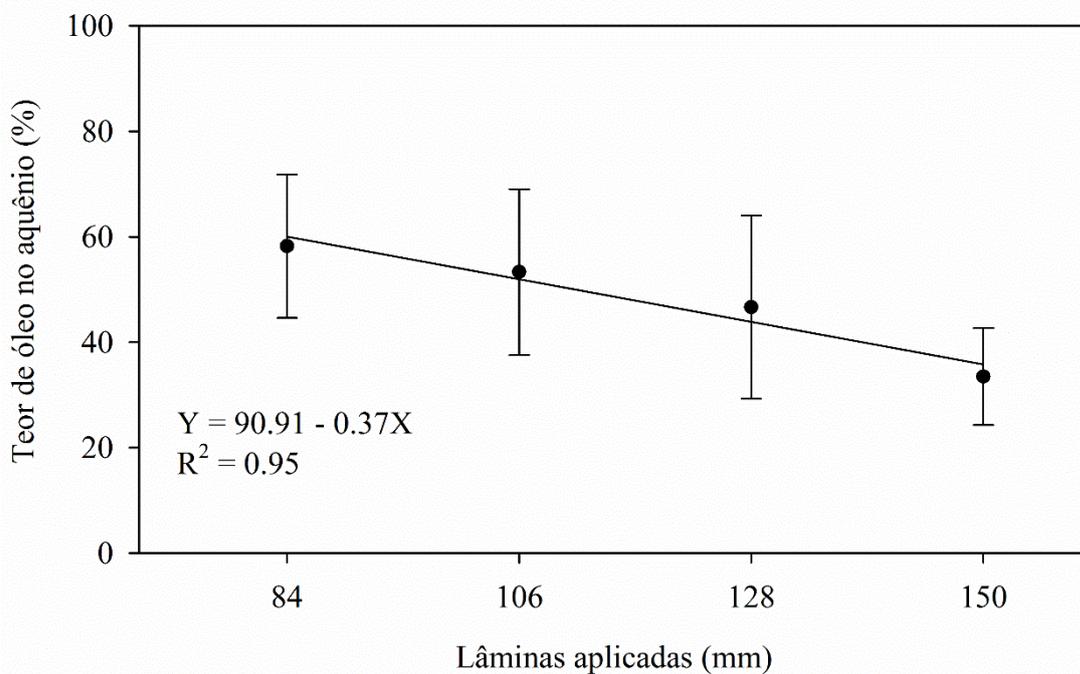


4.5 Teores de óleo de girassol sob diferentes estratégias de irrigação

Com base nos resultados observado para a variável teor de óleo em função das diferentes lâminas líquidas de irrigação, pode-se observar um comportamento distinto, uma vez que a maior porcentagem de teor de óleo na massa dos aquênios do girassol foi observada com menor lâmina líquida ofertada a cultura, havendo máximo acúmulo de teor de óleo nos aquênios para as condições observadas com base no modelo gerado quando fornecidos apenas 84 mm. Dentre

os tratamentos avaliados, o maior acúmulo do teor de óleo nos aquênios foi observado com lâmina líquida de 84 mm (50% do TAW). Embora no presente estudo não tenha sido possível observar diferença significativa para a variável analisada produtividade de aquênios, Silva et al. (2013) destacam que a cultura pode ser irrigada com 50% da ET_o , durante todo o ciclo sem danos no processo fotossintético, o que ajuda a justificar o comportamento do girassol frente a variação da disponibilidade hídrica, diferindo de outras culturas.

Figura 11. Teor de óleo (%) de aquênios do girassol cultivar ADV 5504, em função da disponibilidade hídrica. Santa Maria – RS, 2020.



Conforme destacado por Lacerda et al. (2019), existe uma variação positiva do teor de óleo dos aquênios do girassol em função do aumento da disponibilidade hídrica. Entretanto, é possível que, como uma característica adaptativa das plantas submetidas a um longo período a condições similares de limitação hídrica, o girassol passe a concentrar maior teor de óleo nas sementes em uma tentativa de conferir maior tolerância a seus aquênios a limitação hídrica.

Uma característica interessante que pode ter contribuído para o menor teor de óleo nos tratamentos com maior lâmina líquida irrigada é que segundo Ungaro et al. (2009), o girassol apresenta baixa resistência à difusão de água pelos estômatos, logo, o girassol apresenta uma tendência a esbanjar água quando lhe é oferecida em abundância. Os autores destacam que sob condições de estresse hídrico, os assimilados passam a se mover para o fruto, a partir das folhas mais baixas, colmos e raízes, ou seja, órgãos mais velhos.

A proporção do peso do grão, que pode ser atribuída à fotossíntese da pré-antese, armazenada e mais tarde transferida para o grão, dependerá, claramente, da duração e da severidade do estresse e da redução da fotossíntese, após a antese (UNGARO et al., 2009). Logo, a dinâmica de acúmulo de fotoassimilados e conseqüentemente óleo nos aquênios pode variar em função da disponibilidade hídrica, e taxa fotossintética da planta. Toda via, os resultados obtidos no presente estudo demonstram maior teor de óleo nos aquênios do girassol que recebeu menor lâmina líquida de irrigação.

Como citado anteriormente, por não haver interação entre os fatores analisados, lâmina líquida e cobertura do solo, esses foram avaliados de forma isolada. Por se tratar de uma variável qualitativa, para análise estatística da influência da cobertura do solo nos componentes de produtividade do girassol optou-se por realizar um teste de médias, utilizando Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os resultados observados demonstram que apenas as variáveis analisadas produtividade e massa de capítulo diferiram significativamente com relação a presença ou não de palha na superfície do solo, contudo, com coeficientes de variação que podem ser considerados altos, indicando a variabilidade dos resultados, principalmente em se tratando da massa de capítulo do girassol. O fato pode ser atribuído a grande desuniformidade dos capítulos analisados, mesmo desprezando as bordaduras das parcelas. Conforme resultados observados por Biezus et al. (2015), os resultados obtidos para massa de aquênios por capítulo se assemelham aos de alguns híbridos de girassol analisados pelos autores, o que demonstra maior conformidade para os valores obtidos da variável analisada.

Tabela 4. Massa de Mil Aquênios (g), e Produtividade de aquênios de girassol (Kg ha^{-1}), Diâmetro do Capítulo (g), Massa de Aquênios por Capítulo (g) e Teor de Óleo de aquênios (%) em função da cobertura ou não da superfície do solo.

Superfície do solo	Massa de Mil Aquênios (g)	Produtividade (kg.ha^{-1})	Diâmetro do Capítulo (cm)	Massa de Aquênios por Capítulo (g)	Teor de Óleo (%)
Com palha	42,86 a	2085,54 a	13,06 a	25,04 a	47,07 a
Sem palha	40,18 a	1369,83 b	12,75 a	18,52 b	48,74 a
CV (%)	8,18	24,89	14,95	41,92	29,27
DMS	2,94	372,09	0,54	2,60	12,13

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Dos resultados que diferiram significativamente em função da cobertura ou não da superfície do solo com palhada, valores superiores puderam ser observados onde houve a cobertura do solo com palhada. Uma possível causa para isso foi a alteração do fluxo de calor do solo em virtude da cobertura, proporcionando possivelmente melhores condições térmicas para o desenvolvimento vegetal nas parcelas cobertura, assim como menor evaporação de água no solo, refletindo em melhores condições para o crescimento e desenvolvimento do girassol, produção de fotoassimilados e consequentemente produtividade e massa de aquênios por capítulo.

Conforme observado por Jia et al. (2021), solos cobertos com cobertura morta tendem a apresentar maior conservação da umidade e menor evaporação da água do solo em comparação a solos descobertos. Fato que pode resultar em maior disponibilidade hídrica para as plantas, contribuindo para o aumento produtivo em comparação a áreas sem cobertura do solo. Ainda que no presente estudo não tenha sido observada diferença significativa da produtividade em função da lâmina líquida irrigada, fica evidente a importante contribuição da cobertura do solo para o aumento produtivo da cultura, sendo essa uma interessante alternativa para o aumento da sustentabilidade do cultivo.

5. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que a metodologia A&P pode ser usada para estimar os coeficientes de cultura (K_c e K_{cb}), visando melhorar a estimativa do requerimento hídrico das culturas.

A estimativas dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento do girassol, quando associados à soma térmica, permitem separar as fases do ciclo, melhorando significativamente a estimativa do requerimento hídrico em cada estágio do ciclo. Entretanto, mais observações necessitam ser incorporados, sobretudo a fração de cobertura.

Os teores de óleo dos aquênios do girassol decresceram com o aumento da lâmina total de água aplicada durante o ciclo, indicando que o momento de ocorrência do déficit pode ter influenciado essa variável

Com base nos aspectos observados, é possível concluir que a cobertura do solo com palhada pode contribuir para o aumento da produtividade do girassol em comparação ao cultivo em solo descoberto.

6. APÊNDICE

Figura 12. Valores de altura de plantas (cm), para o girassol submetido a diferentes estratégias de irrigação, com (a) e sem palha (b) na superfície do solo, em função do acúmulo de graus dia (GDA).

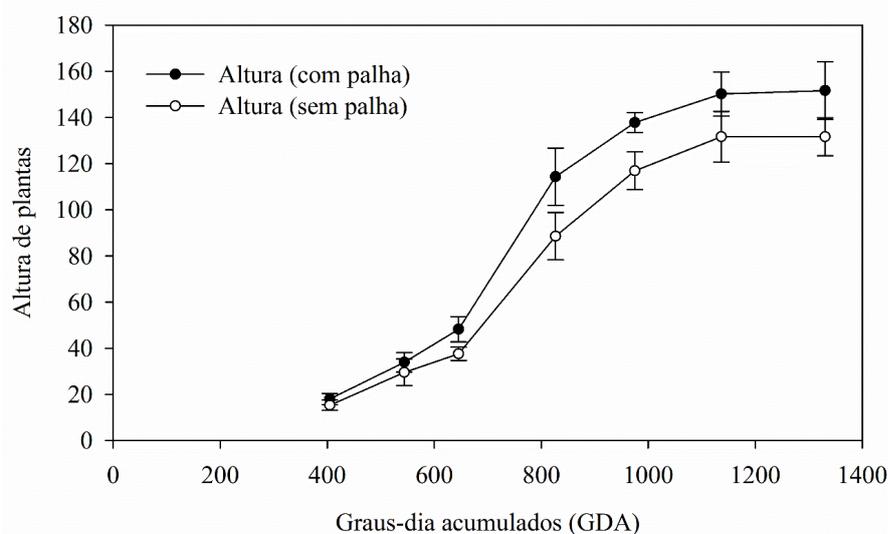
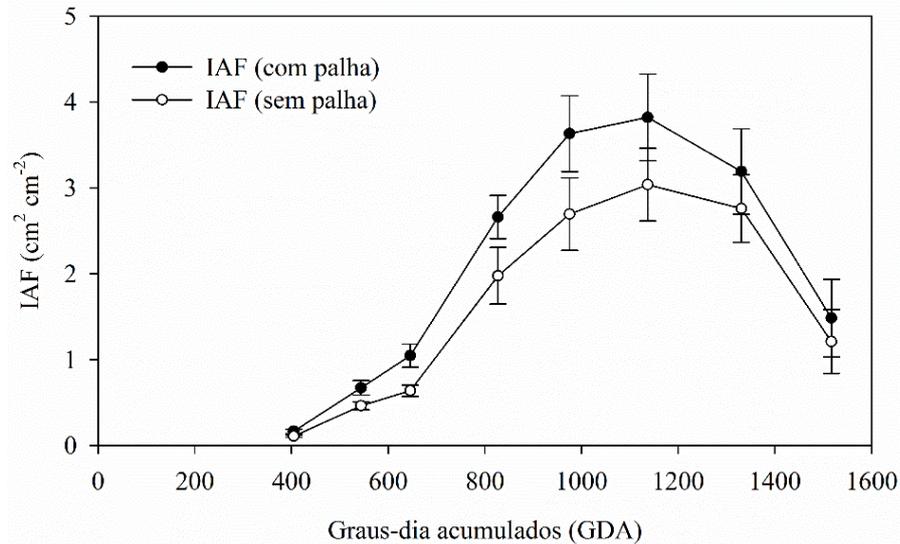


Figura 13. IAF - Índice de área foliar ($\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$), para o girassol submetido a diferentes estratégias de irrigação, com (a) e sem palha (b) na superfície do solo, em função do acúmulo de graus dia (GDA).



7. REFERÊNCIAS

- AGAM, et al. Evaporative loss from irrigated inter rows in a highly advective semi-arid agricultural areas. **Advances in Water Resources**, v.50, p.20-30, 2012.
- AIKEN, R. M. Applying Thermal Time Scales to Sunflower Development. **Agron. J.** V. 97, p.746–754, 2005. doi:10.2134/agronj2004.0181.
- AKKAYA, M. R. Fatty acid compositions of sunflowers (*Helianthus annuus* L.) grown in east Mediterranean region. *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, v.XCV, p.239-247, 2018.
- ALLEN, R. G et al. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, FAO irrigation and drainage paper 5. Rome, Italy: FAO, 300 p. 1998.
- ALLEN, R. G. et al. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.131, p. 2 -13, 2005.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrig. Sci.* 28, 17–34, 2009.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., HOWELL, T.A. e JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting: I: factors governing measurement accuracy. **Agric. Water Manage.** V.98, p.899-920, 2015.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J.L. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, p. 2–13, 2005.

ALVES JUNIOR, J. et al. **Viabilidade Econômica da Irrigação por Pivô Central nas Culturas de Soja, Milho e Tomate**. Pesq. agropec. pernamb., Recife, 2018.

ANGELONI, P., AGUIRREZÁBAL, L. e ECHARTE, M. M. Assessing the mechanisms underlying sunflower grain weight and oil content responses to temperature during grain filling. **Field Crops Research**. v. 262, p.108040, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108040>

ARSEGO, D. A. et al. **Indicadores Climáticos e a Produtividade de Soja no Rio Grande Do Sul**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 2, p. 191-200, 2019.

BÁEZ, M. S. A. **Partição da evapotranspiração, rendimento de grãos e retorno econômico da soja cultivada sob diferentes estratégias de irrigação**. Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, 2017.

BIEZUZ, E. C. et al. **Rendimento de Grãos e Componentes Primários de Rendimento de Híbridos de Girassol em Campo Novo de Parecis, na Segunda Safra do Verão de 2015**. XXI Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol, Londrina, 2015.

BUTTAR, N. A. et al. **Estimation of evapotranspiration using Bowen ratio method**. IFAC Papers On Line, v. 51, n. 17, p. 807-810, 2018.

CARVALHO, L. M. et al. **Produtividade do Girassol em Função da Disponibilidade de Umidade**. Embrapa, 2016, 37p.

CASTRO, C. et al. **A cultura do girassol**. Londrina: EMBRAPA, 1999, 44p

CHECHI, L. **Monitoramento do Requerimento Hídrico e Rendimento de Soja e Milho via Combinação de Modelo de Balanço Hídrico do Solo e Sensoriamento Remoto**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola., 2019.

COMAS, L. H. et al. **Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize**. Agricultural Water Management, p. 433-440, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 6, 2019, 125p.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. **Conjuntura Mensal – Girassol**, mar, 2017.

CONAB. **Grãos, Safra 20/21: 2º Levantamento**. Companhia Nacional de Abastecimento. 2020.

CONCEIÇÃO, M, A, F, e MANDELLI, F. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS**. Ver. Bras. Agrometeorologia, v. 13, n. 2, p. 123-127, 2005.

DALCHIAVON, F. C. et al. **Avaliação de Genótipos de Girassol (*Helianthus Annuus L.*) em Campo Novo do Parecis – MT**. XXI Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol - IX Simpósio Nacional sobre a Cultura do Girassol, Londrina, PR, 2015.

DALCHIAVON, F. C.; MALACARNE, B. J.; CARVALHO, C. G. P. **Características Agronômicas de Genótipos de Girassol (*Helianthus annuus L.*) em segunda safra do Chapadão do Parecis – MT**. Revista de Ciências Agrárias, p. 178-186, 2016.

DE JESUS, M. L. B. **Sistema de Rotação de Culturas Milho Soja**. Universidade Estadual de Goiás, Campus Posse, Curso Superior de Tecnologia em Produção de Grãos, nov. 2018.

DE la VEGA, A.J. e HALL, A.J. Effects of planting date, genotype and their interactions on sunflower yield: I. Determinants of oil-corrected grain yield. *Crop Sci.* v. 42, p.1191–1202, 2002.

DE VILLA, B. **Eficácia de sistemas de manejo e de espécies de cobertura na redução das perdas de água e solo e na melhoria da estrutura de um latossolo argiloso.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Graduação em Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia e Agricultura, 2020.

DÍAZ, C. M. P. et al. **Water status, gas Exchange and crop performance in a super high density olive orchard under deficit irrigation scheduled from leaf turgor measurements.** *Agricultural Water Management*, p. 241-252, 2018.

DOORENBOS, J. e PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop-water requirements. In: *FAO Irrigation and Drainage* 156 pp. Paper No. 24, second rev. ed. FAO, Rome, Italy, 1977.

EBRAHIMIAN, E. et al. **Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability.** *Agricultural Water Management*, p. 149-157, 2019.

ECHARTE, L. et al. Sunflower evapotranspiration and water use efficiency in response to plant density. *Crop Science*, v.60, p.357-366, 2019. DOI: 10.1002/csc2.20001.

EL-BIALLY, M. et al. **Efficacy of ascorbic acid as a cofactor for alleviating water deficit impacts and enhancing sunflower yield and irrigation water use efficiency.** *Agricultural Water Management*, p. 132-139, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, 306 p, 2006

EVETT, S.R., WARRICK, A.W., MATTIAS, A.D. Wall material and capping effects on microlysimeter temperatures and evaporation. *Soil Sci. Soc. Am.J*, v.59, p.329-336- 1995.

GIMENEZ, L., PAREDES, P., PEREIRA, L.S. Water use and yield of soybean under various irrigation regimes and severe water stress. Application of AquaCrop and SIMDualKc models. *Water* 9, 393, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9060393>.

GIMENEZ, L.; PAREDES, P.; PEREIRA, L.S. Water Use and Yield of Soybean under Various irrigation Regimes and Severe Water Stress. Application of AquaCrop and SIMDualKc Models. *Water*, v. 9, p.393, 2017.

HOWELL, T. A. et al. Evapotranspiration, water productivity and crop coefficients for irrigate sunflower in the U.S. Southern High Plains. *Agricultural Water Management*, p. 33-46, 2015.

HOWELL, T.A., EVETT, S.R., TOLK, J.A., COPELAND, K.S. e MAREK, T.H. **Evapotranspiration, water productivity and crop coefficients for irrigated sunflower in the U.S. Southern High Plains** *Agric. Water Manage*, v.162, p.33-46, 2015.

IQBAL, N., ASHRAF, M.Y., ASHRAF, M., 2005. Influence of water stress and exogenous glycinebetaine on sunflower achene weight and oil percentage. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 5, 155–160.

IZQUIERDO, N.G., AGUIRREZABAL, L.A.N. Genetic variability in the response of fatty acid composition to minimum night temperature during grain filling in sunflower. *Field Crops Res.* 106, 2008.

JENSEN, M. E.; ALLEN, R. G. **Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements**: ASCE Manuals and Reports Engineering Practice. 2. ed. Reston: American Society of Civil Engineers, 2016. 769 p.

JIA, Q. et al. **Evaporation of Maize Crop Under Mulch Film and Soil Covered Drip Irrigation: Field Assessment and Modelling on West Liaohe Plain, China**. *Agricultural Water Management*, 2021.

JIANG, X., KANG, S., TONG, L., Li, F., Li, D., DING, R., QIU, R. Crop coefficient and evapotranspiration of grain maize modified by planting density in an arid region of northwest China. *Agric. Water Manage.* 142, 135–143, 2014.

KARAM, F. et al. **Evapotranspiration, seed yield and water use of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions**. *Agric. Water Manage.* v.90, p.213–223, 2007.

KIANI, M., GHEY SARU, M., MOSTAFAZADEH-FARD, B., MAJIDI, M.M., KARCHANI, K. e HOOGENBOOM, G. **Effect of the interaction of water and nitrogen on sunflower under drip irrigation in an arid region**. *Agric. Water Manage.* v.171, p.162-172, 2016.

KOOL, D. et al. **A review of approaches for evapotranspiration partitioning**. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol.184, p.56– 70, 2014.

KOTTEK, M. et al. **World map of the Koppen-Geiger climate classification updated**. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259– 263, 2006.

LACERDA, R. D. et al. **Produtividade e Teor de Óleo do Girassol Submetido a Diferentes Níveis de Água e Nitrogênio no Solo**. *Rev. Bras. Agric. Irr.* v. 11, nº 2, Fortaleza, p. 1358 - 1363, mar - abr, 2017.

LÓPEZ, G. J. et al. **Yield response of sunflower to irrigation and fertilization under semi-arid conditions**. *Agricultural Water Management Volume 176*, October 2016.

LÓPEZ-URREA, R., MONTORO, A., TROUT, T.J., 2014. Consumptive water use and crop coefficients of irrigated sunflower. *Irrig. Sci.* 32 (2), 99–109.

LOUSE, L. H. **Respostas Agronômicas e Morfológicas do Girassol ao Déficit Hídrico e Excesso Hídrico em Dois Solos**. Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

MALDANER, I. C. et al. **Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.5, p.1356-1361, ago, 2009.

MARTINS, J.D.; RODRIGUES, G.C.; PAREDES, P.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z.B.; KNIES, A.E.; PETRY, M.T.; PEREIRA, L.S. Dual crop coefficients for full and deficit irrigated maize in southern Brazil: model calibration and validation for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystem Engineering**, v.115, p.291-310, 2013. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2013.03.016.

MEDEIROS, G.A., DANIEL, L.A., FENGLER, F.H., 2016. Growth, development, and water consumption of irrigated bean crop related to growing degree-days on different soil tillage systems in Southeast Brazil. *Int. J. Agron ID* 8065985.

MIAO, Q. et al. Modeling water use, transpiration and soil evaporation of spring wheat–maize and spring wheat–sunflower relay intercropping using the dual crop coefficient approach. **Agricultural Water Management**. 165, 211–229, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.024>.

MONTEITH, J.L. **Evaporation and Experimental Environment**. 19th Symposia of the Society for Biology, 19. University Press, Cambridge, pp. 205–234, 1965.

ODHIAMBO, L. O.; IRMAK, S. Evaluation of the impact of surface cover on single and dual crop coefficient for estimating soybean actual evapotranspiration. **Agric. Water Manage.** 104, 221-234, 2012.

OLIVEIRA, A. C. B. et al. **Comportamento de Genótipos de Girassol nas Safras 2013/14 e 2014/15**. Embrapa, Circular Técnica, n. 174, 2016.

OLIVEIRA, J. T. L. et al. **Fitomassa de girassol cultivado sob adubação nitrogenada e níveis de água disponíveis no solo**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 6, n. 1, p. 23-32, 2012.

PAÇO, T. A. et al. **Evapotranspiration and crop coefficients for a super intensive olive orchard. An application of SIMDualKc and METRIC models using ground and satellite observations**, Journal of Hydrology, v.519, p. 2067–2080,2014.

PAREDES. P. et al. Evapotranspiration Partition and Crop Coefficients of Tifton 85 Bermudagrass as Affected by the Frequency of Cuttings. Application of the FAO56 Dual Kc Model. **Water**, v.10, n.5 p.558-578, 2018. DOI 10.3390/w10050558.

PATRIGNANI, A. e OCHSNER, T. E. Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agron. J.*, v.107, p.2312–2320, 2015. doi:10.2134/agronj15.0150

PEREIRA, L.S., ALLEN, R.G., SMITH, M. e RAES, D. **Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future**. *Agric. Water Manage.* v. 147, p.4-20, 2015.

PEREIRA, L.S.; PAREDES, P., MELTON, F., JONHSON, L., WANG, T., LÓPEZ-URREA, R., CANCELA, J.J; ALLEN, R. Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height. Background and validation using ground and remote sensing data. **Agricultural Water Management**, v.241, p. 106197, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106197>. Acesso em 15 mar. 2021.

PEREIRA, L.S.; PAREDES, P., MELTON, F., JONHSON, MOTA, M., WANG, T. Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height: Practical application to vegetable, field and fruit crops with focus on parameterization. **Agricultural Water Management**, v.252, p. 106663, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106663>

PÔÇAS, I., CALERA, A., CAMPOS, I. e CUNHA, M. Remote sensing for estimating and mapping single and basal crop coefficients: A review on spectral vegetation indices approaches. **Agricultural Water Management**, v.233, p. 106081, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106081>.

RITCHIE, J. T. **Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover**. *Water Resources Research*, v.8, p.1204–1213, 1972.

ROCHE, J. et al. Management of environmental crop conditions to produce useful sunflower oil components. **Eur. J. Lipid Sci. Technol.** 108, 287–297, 2006.

- RODRIGUES, G. C., PAREDES, P., GONÇALVES, J.M., ALVES, I., PEREIRA, L.S. **Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria.** *Agric. Water Manage.* v. 126, p.85-96, 2013.
- ROSA, R. D. et al. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. I: Background and computational strategy. **Agricultural Water Management**, v.103, p.8-24, 2012.
- SÁNCHEZ, J. M. et al. Assessing crop coefficients of sunflower and canola using two-source energy balance and thermal radiometry. **Agricultural Water Management**, p. 23-29, 2014.
- SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. **Comparação entre métodos de cálculo de unidades térmicas e os dias do calendário da previsão de subperíodos de desenvolvimento do girassol.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1986.
- SANTOS, M, S, et al. **Thermal Time as a Bioclimatic Index for Development Characterization of Sunflower Cultivars in Southern Brazil.** *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, p. 64-67, 2018.
- SCHNEITER, A.A., MILLER, J.F. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, Madison, v. 21, n. 6, p. 901-903,1981.
- SEILER, G. J. e GULYA, T. J. **Sunflower: Overview.** Reference Module in Food Science, p 247-253, 2016.
- SHAHRAEENI, E., LEHMANN, P., OR, D., 2012. **Coupling of evaporative fluxes from drying porous surfaces with air boundary layer: characteristics of evaporation from pores.** *Water Resources Research*, v. 48, p.1-15, 2012.
- SHAWCROFT, R.W. e GARDNER, H.R. **Direct evaporation from soil under a row crop canopy.** *Agricultural Meteorology*, v.28, n.3, p. 229-238, 1983.
- SILVA, A. R. A. et al. **Gas Exchange in sunflower plants subjected to water deficit at different stages of growth.** *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n.1, p. 86-93, 2013.
- SMITH, M., ALLEN, R.G., MONTEITH, J., PERRIER, A., PEREIRA, L.S. e SEGEREN, A. **Report of the Expert Consultation on Procedures for revision of FAO Guidelines for prediction of Crop Water Requirements.** UN-FAO, Rome, Italy, 54p., 1991.
- SOARES, A. A. et al. **Fitomassa e Produção do Girassol Cultivado Sob Diferentes Níveis de Reposição Hídrica e Adubação Potássica.** *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.19, n.4, p.336–342, 2015.
- SOUZA, F, R. et al. **Características agronômicas do cultivo de girassol consorciado com *Brachiaria ruziziensis*.** *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 1, p. 110-116, 2015.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D. AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. **Agronomy Journal**, v.101; p.426-437, 2009. DOI 10.2134/agronj2008.0139s.
- TIE, Q. et al. **Comparing different methods for determining forest evapotranspiration and its components at multiple temporal scales.** *Science of the Total Environment*, p. 12-29, 2018.
- TOLK, J.A., HOWELL, T.A., 2012. **Sunflower water productivity in four Great Plains soils.** *Field Crops Res.* v.127, p.120-128, 2012.

- TYAGI, N. K. et al. **Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter.** *Agricultural Water Management*, p. 41-54, 2000.
- UNGARO, M. R. G. et al. **Cultivos temporários – Girassol.** Embrapa, cap. 12, p. 205-221, 2009.
- UNGARO, M. R. G. et al. **Girassol. Agrometeorologia dos Cultivos: O Fator Meteorológico na Produção Agrícola.** Brasília, DF: INMET, p. 210 – 212, 2009.
- USDA - United States Department of Agriculture. **Production, Supply and Distribution Online.** Disponível em: http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?navid=DATA_STATISTICS>. Acesso em 29/11/2020.
- VIANA, T. V. A. et al. **Lâminas de Irrigação e Coberturas do Solo na Cultura do Girassol, Sob Condições Semiáridas.** *Irriga, Botucatu*, v. 17, n. 12, p. 126-136, abril-junho, 2012.
- WEI, Z., et al. **Modelling transpiration, soil evaporation and yield prediction of soybean i North China Plain.** *Agric. Water Manage.* (2014).
- Weight per grain, oil concentration, and solar radiation intercepted during grain
WILCOX, B.P., BRESHEARS, D.D. e SEYFRIED, M.S. **Water balance on rangelands.** In: Stewart, B.A., Howell, T.A. (Eds.), *Encyclopedia of Water Science.* Marcel Dekker, Inc., New York, p. 791–794, 2003.
- WRIGHT, J. L. **New evapotranspiration crop coefficients.** *J Irrig Drain. E-ASCE* v.108, p. 57-74,1982.
- YAVUZ, D., ACAR, B., YAVUZ, N. e ÇIFTÇI, N. **Irrigation in Various Growth Stages effect on yield and Water Productivity of Drip Irrigated Sunflower in Semi-Arid Konya Environment, Turkey.** *International Journal of Agriculture and Economic Development.* 62, p. 7-17, 2018.
- YAVUZ, D., ACAR, B., YAVUZ, N. e ÇIFTÇI, N. **Irrigation in Various Growth Stages effect on yield and Water Productivity of Drip Irrigated Sunflower in Semi-Arid Konya Environment, Turkey.** *International Journal of Agriculture and Economic Development.* 62, p. 7-17, 2018.
- ZHAO, N.; LIU, Y.; CAI, J.; PAREDE, P.; ROSA, R. D; PEREIRA, L. S. **Dual crop coefficient modelling applied to the winter wheat–summer maize crop sequence in North China Plain:** Basal crop coefficients and soil evaporation component. *Agricultural Water Management.* 117, p. 93– 105, 2013.