

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO AUTOMATIZADA: uma revisão sistemática e meta-análise

AUTOMATED EVAPOTRANSPIRATION: a systematic review and meta-analysis

EVAPOTRANSPIRACIÓN AUTOMATIZADA: una revisión sistemática y metanálisis


### Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Graduação em Matemática pela FCT/UNESP (2000), e Livre Docência em Matemática Aplicada e Computacional pela UNESP (2015).  
[gabriel.filho@unesp.br](mailto:gabriel.filho@unesp.br)

 0000-0002-7269-2806


### Camila Pires Cremasco

Graduação em Matemática pela FCT/UNESP (2000), e Livre Docência em Matemática Aplicada pela UNESP (2018).  
[camila.cremasco@unesp.br](mailto:camila.cremasco@unesp.br)

 0000-0003-2465-1361

### Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Possui graduação em Engenharia Mecatrônica pelo UniSALESIANO de Araçatuba-SP (2010) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) (2017).  
[paulo.sb.santos@unesp.br](mailto:paulo.sb.santos@unesp.br)

 0000-0001-8211-3882


### Jucilene de Medeiros Siqueira

Doutorado em Engenharia de Biosistemas pela Universidade de Lisboa.  
[jucilene.siqueira@unesp.br](mailto:jucilene.siqueira@unesp.br)

 0000-0002-0687-6631


### Alisson Rodolfo Leite

Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica - USP (2016), Doutorando em Agronegócio e Desenvolvimento pela Universidade Estadual Paulista (UNESP).  
[alisson.rodolfo@unesp.br](mailto:alisson.rodolfo@unesp.br)

 0000-0003-0838-4566


### Renata Nagima Imada

Possui graduação em Matemática pela FCT/UNESP (2011), e mestrado em Matemática Aplicada e Computacional pela UNESP (2014).  
[renata.imada@unesp.br](mailto:renata.imada@unesp.br)

 0000-0002-7355-822X


### Fabiano Pinto Neves

Administração de Empresas pela Faculdade de Ciências Contábeis e Administração de Tupã - FACCAT (2005) Mestranda em Desenvolvimento do Agronegócio pela Universidade Estadual Paulista (UNESP).  
[fabiano.neves@unesp.br](mailto:fabiano.neves@unesp.br)

 0000-0002-2228-8426

### João Paulo Mantovani


Mestre em Agronomia na Produção Vegetal pela Universidade do Oeste Paulista. Doutor em Agronegócio e Desenvolvimento pela Universidade Estadual Paulista (UNESP).  
[joao.matovani@unesp.br](mailto:joao.matovani@unesp.br)

 0000-0003-3083-8237

### Leandro Paloma Mantovani

Possui graduação em Agronomia pelas Faculdades Adamantinenses Integradas (2016). Mestrado em

Desenvolvimento do Agronegócio pela Universidade Estadual Paulista.  
[imatovani@unesp.br](mailto:imatovani@unesp.br)

 0000-0001-7050-1351

### Celso da Silva

Bacharel em Administração de Empresas pela Universidade Estadual Paulista (Unesp). Pós-graduanda em Desenvolvimento de Pessoas, Negócios e Performance Analytics pelo Centro Universitário Maurício de Nassau (UNINASSAU).  
[celso.silva@unesp.br](mailto:celso.silva@unesp.br)

 0000-0002-2049-0858

Correspondência: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Câmpus de Tupã. Rua Domingos da Costa Lopes, 780 – Jardim Itaipu, CEP: 17602-496, Tupã, SP – Brasil.

Recebido em: 16.04.2023.

Aceito em: 19.06.2023.

Publicado em: 02.08.2023.

### RESUMO:

Tendo em vista a escassez de recursos hídricos que vem se agravando ao longo do tempo e o alto consumo desses recursos pelo agronegócio, há a necessidade de estudos que possam gerir tal ação de forma sustentável, proporcionando segurança alimentar para a população mundial presente e futura. **Background:** com o tema: Qual a visão sistêmica dos modelos e técnicas automatizadas para determinação ou estimativa de transpiração, evaporação ou evapotranspiração para plantações? **Objetivos:** Identificar na literatura recente o que pesquisadores e cientistas têm divulgado sobre métodos de automação para irrigação, com foco na estimativa da evapotranspiração. Identificar métodos, modelos e técnicas de inferência da evapotranspiração. **Métodos:** A metodologia baseou-se no ensaio teórico exploratório com características qualitativas e quantitativas por meio de Revisão Sistemática e Metanálise dos dados. **Resultados:** Com o uso de softwares e métodos específicos, estudos de simulação com dados experimentais permitem calibrar modelos eficientes para estimar a evapotranspiração, mas métodos de baixo custo ainda têm pouca aderência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência no uso da água; Irrigação; Automação; Evapotranspiração; Revisão sistemática.

## Introdução

Sendo a água um dos bens mais preciosos existentes na natureza e na maior parte da superfície do Planeta Terra, presente em três formas de estado da matéria como: gasoso, sólido e líquido, e essencial a sobrevivência de todos os organismos vivos, mesmo em abundância, nem toda água é apropriada para consumo, ainda, da que é adequada ao consumo grande parte não se encontra acessível (Nagel; Novo; Kampel, 2020), havendo assim uma necessidade e cuidados quanto à utilização deste recurso natural (Pereira et al., 2018).

Estima-se que a maior parte do consumo dos recursos hídricos esteja associado ao agronegócio e setores industriais de produção. No Brasil, estima-se que *“dos 30.554 hm<sup>3</sup> da água consumida no país, 90% ou 27.498 hm<sup>3</sup> concentram-se no agronegócio”* (Montoya; Finamore, 2020, p. 456). Tendo ela uma característica peculiar em relação a maioria dos outros recursos naturais, a água circula naturalmente e, quando evapora, muda de líquido para gás e, eventualmente, condensa e retorna ao solo. Assimilada durante a fotossíntese das plantas torna-se parte dos carboidratos armazenados nas plantas, mas, em última análise, voltam à água por decomposição (Kang et al., 2021; Oki; Kanae, 2006).

Cabe observar que na natureza, a água pode alterar seu estado físico por diversos processos distintos como, por exemplo, a evaporação, a qual corresponde ao processo físico de mudança de fase, passando do estado líquido para o gasoso e que ocorre em oceanos, lagos, rios, no solo e na vegetação úmida do orvalho ou da água remanescente das chuvas (Allen et al., 2006; Zhang et al., 2022).

Havendo também o processo biofísico da transpiração, a partir do qual a água que passa por um vegetal, sendo constituinte temporária do seu metabolismo, é posteriormente transferida para a atmosfera por seus estômatos, seguindo uma série de resistências desde o solo, passando pelos xilemas, mesófilo e estômatos até atingir a atmosfera. Distinguir o vapor d'água lançado na atmosfera proveniente dos dois fenômenos (evaporação e transpiração da planta) é muito custoso e, para muitos métodos, utiliza-se o termo conhecido como evapotranspiração, definida como o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por meio da evaporação da água do solo, da vegetação úmida e por transpiração das plantas, podendo ser considerada como uma das variáveis mais importantes do ciclo hidrológico ao equacionar energia, clima e disponibilidade hídrica (Barbieri et al., 2020; Lei et al., 2018; Liu et al., 2020; Narciso, 2016).

O processo de evapotranspiração desloca os recursos hídricos para a atmosfera e essa umidade é direcionada para outras regiões distintas ao local de plantio devido ao

movimento das massas de ar, contribuindo para o déficit hídrico das culturas, e esse processo configura um dos principais causadores da perda de produtividade, impactando diretamente a economia regional (Barbieri et al., 2020; Kamarudin; Ismail; Saidi, 2021).

Dado a possibilidade do reaproveitamento total no local da quantidade que é transferida para a atmosfera, surge a necessidade de realizar a recomposição dos recursos hídricos para o solo por sistemas de irrigação manuais ou automatizados (Jo; Shin, 2021a). Consequentemente, evidencia-se a carência de estimar com precisão aceitável a quantidade de água necessária para a recomposição da umidade do solo para o crescimento saudável das culturas locais, pois a utilização excessiva de irrigação pode ser nociva ao solo, causando a lixiviação ou inundação local (Jo; Shin, 2021a; Kamarudin; Ismail; Saidi, 2021). Ademais, os sistemas de irrigação possuem um custo indexado, devido à mão de obra operante nos sistemas manuais e nos sistemas que envolvem bombeamento custos provenientes do consumo de energia elétrica (Pereira et al., 2018).

Analisar o processo com intuito de otimizar os sistemas de irrigação, principalmente dos povos carentes de recursos financeiros, alinha-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da organização das Nações Unidas (ONU), pois auxilia a erradicação da pobreza (ODS-1) ao aumentar a eficiência da produção orgânica. Nos sistemas de agricultura sustentável (ODS-2), tal ação reduz a quantidade de recursos hídricos para a produção dos cultivos e, na saúde (ODS-3), tendo em vista que a maioria das zonas rurais não possuem um tratamento de água para o consumo de moradores e trabalhadores, preserva a melhor qualidade de água e de saneamento (ODS-6), sendo uma ação direta na saúde pública ao evitar surtos de doenças infecciosas e patogênicas. Em acréscimo, com o crescimento econômico e o trabalho decente (ODS-8) (Amaral et al.; 2003). A utilização racional coopera, também, com a preservação da vida aquática (ODS-14), uma vez que previne o carregamento de substâncias tóxicas, fertilizantes e agrotóxicos para os lençóis freáticos, lagos e rios localizados nas regiões que circundam os locais das plantações (Bhattacharyya et al., 2021; GT Agenda 2030, 2022; Moghadam, 2016; Ribeiro; Jaime; Ventura, 2017).

Dado a importância da água e de sua utilização e recuperação para a reutilização visando a preservação e manutenção da vida definiu-se a realização deste estudo com a temática: Qual a visão sistêmica dos modelos e técnicas automatizadas para a determinação ou estimativa da transpiração, evaporação ou evapotranspiração para as plantações?

Com base nesta temática, definiu-se por objetivo geral da pesquisa: Identificar na literatura recente o que pesquisadores e cientistas têm publicitado acerca dos métodos de automação para irrigação, focado na estimativa da evapotranspiração.

E, por objetivos específicos poder responder as seguintes questões:

- a) Quais os métodos automatizados para determinar a evapotranspiração existem?
- b) Dos métodos e equipamentos existentes há algum que seja de baixo custo?

Neste sentido as hipóteses estabelecidas para este estudo são:

$H_0$  = há métodos e técnicas automatizadas para a determinação ou estimação da transpiração, evaporação ou evapotranspiração para as plantações que são de baixo custo.  $H_1$  = não há métodos e técnicas automatizadas para a determinação ou estimação da transpiração, evaporação ou evapotranspiração para as plantações que são de baixo custo.

$H_0$  = os modelos de métodos e técnicas na determinação ou estimação da transpiração, evaporação ou evapotranspiração de baixo custo são eficientes e de fácil utilização pelo pequeno produtor.  $H_1$  = os modelos de métodos e técnicas na determinação ou estimação da transpiração, evaporação ou evapotranspiração de baixo custo não são eficientes ou são de difícil utilização pelo pequeno produtor.

Considerando-se a importância da temática embasada e fundamentada nesta introdução, e dos objetivos propostos, encontra-se justificado a realização da presente pesquisa, por meio de uma Revisão Sistemática (RS) e Meta-análise.

## Materiais e Métodos

Considerando-se a relevância do tema relacionado à determinação da evapotranspiração, percebeu-se benéfica a busca sistemática na literatura sobre os sistemas e métodos capazes de estimar ou até mesmo prever a evapotranspiração das culturas vegetativas, tanto no conceito acadêmico como tecnológico, uma vez que impacta diretamente a economia e questões sociais da população.

### Estratégia de pesquisa

O presente estudo se realizou pela metodologia aplicada no desenvolvimento da pesquisa como ensaio teórico exploratório com características qualitativa e quantitativa através de Revisão Sistemática (RS), visando alcançar respostas aos objetivos fixados pela temática e testar as hipóteses nos protocolos com base nas evidências (Sampaio; Mancini, 2007). O método descritivo e analítico presente na forma de relatar as

descobertas e aferição dos resultados (Guyatt et al., 2011; Lakatos; Marconi, 2003), via meta-análise das descobertas nos estudos extraídos para síntese (Kitchenham; Madeyski; Brereton, 2020; Klant; Santos, 2021).

### Seleção, inclusão e exclusão de estudos

Todos os procedimentos se deram com base em um protocolo estruturado para a identificação e constatação de evidências de forma pareada pelos pesquisadores (GUYATT et al., 2008). Os critérios de elegibilidade para a Inclusão e exclusão de estudos e para a extração e demais procedimentos de análise e reportagem dos achados encontram-se no Protocolo de Pesquisa e Plano de Gerenciamento de Dados registrados no Mendeley® Data (Elsevier Inc., 2021) com o DOI: 10.17632/89wr243dbt.1 (Leite et al., 2022).

As buscas e estratégias de levantamento dos estudos nas bases de dados dos repositórios se deram nas seguintes bases: IEEE, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science. Os procedimentos de Seleção, inclusão e exclusão dos estudos se deram por meio dos metadados com a utilização do software StArt® – State of the Art Through Systematic Review (LaPES - LABORATÓRIO DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE SOFTWARE, 2020) para uma maior assertividade e registro das ações com base no protocolo estabelecido (Fabbri et al., 2016; (Leite et al., 2022); McGowan et al., 2016).

### Extração e síntese de dados

A extração contou com uma análise mais detalhada para identificar nos estudos elementos que viabilizasse alcançar os objetivos da pesquisa e responder as hipóteses (Santos; Pimenta; Nobre, 2007). Extraíndo-se 32 artigos que foram extensivamente analisados para a síntese, contando com meta-análise textual com o software Iramuteq® 0.7 alpha 2 (Klant; Santos, 2021; Mancini et al., 2014; Ratinaud, 2014; Souza et al., 2018).

### Avaliação de qualidade

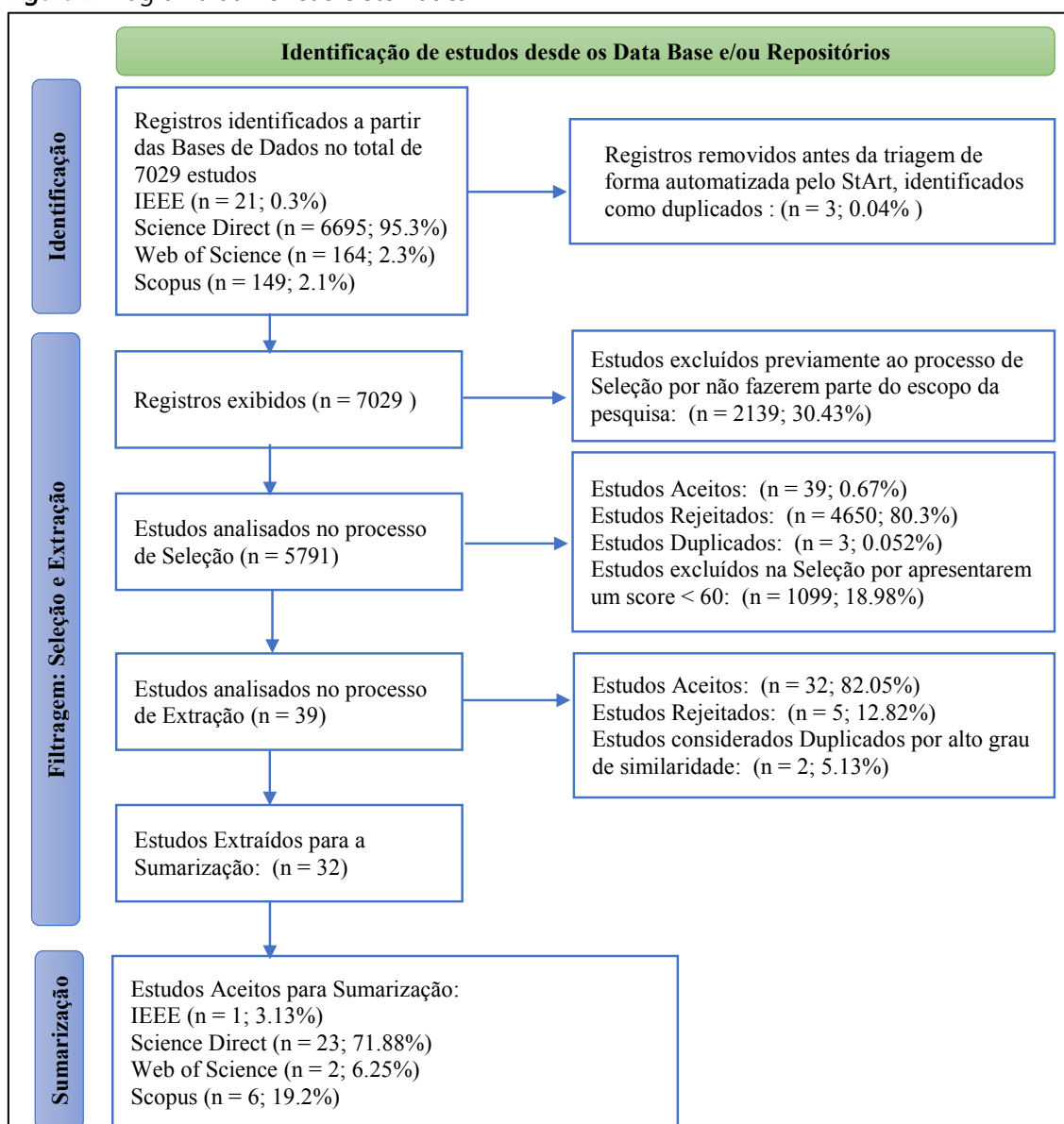
Em todos os procedimentos dos processos de seleção, extração e sumarização com filtros de avaliação de qualidade com o auxílio do software StArt® em identificar nos estudos elementos e termos chaves da pesquisa conforme as strings programadas gerando para cada estudo um score conforme a incidência dos termos, facilitando a identificação dos estudos mais correlacionados ao escopo da pesquisa (Guyatt et al., 2008, 2011). Na sumarização contou-se com a meta-análise textual com o Software Iramuteq® 0.7 alpha 2 (Klant; Santos, 2021; Kunihiro et al., 2022).

## Resultados

### Seleção dos Estudos

Na busca pelos estudos mais atuais nas bases de dados, estimou-se um intervalo de tempo referente aos trabalhos publicados representado o desenvolvimento da Seleção e Extração no Diagrama de fluxo na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 1 Diagrama da Revisão Sistemática



Fonte: Preparado pelos autores conforme o modelo PRISMA 2020. (Page et al., 2021; PRISMA-GROUP et al., 2015).

No período de janeiro de 2016 a outubro de 2021, ajustado aos termos de busca: "(automation OR automatic OR mechanisation OR robotization OR motorization OR self-moving OR self-starting OR self-regulating) AND evapotranspiration". Sendo levantado

7029 estudos, os quais foram submetidos ao processo da revisão sistemática, com protocolo mencionado na seção de materiais e métodos.

Conforme pode ser observado no diagrama, dos 7029 estudos identificados nas buscas nos Data base dos repositórios, após os procedimentos de seleção e extração, resultaram em 32 estudos qualificados para a sumarização e meta-análise dos resultados.

### Características dos estudos e discussões

Para melhor explanação das características dos estudos, a discussão segue em conjunto conforme as negociações desenvolvidas. Nesse sentido, nos estudos selecionados, foram observados trabalhos que estimam a evapotranspiração via análise de imagens de satélite para estimar o tempo e a quantidade de irrigação, correlacionando dados ópticos e térmicos do Landsat-7/8 em quatro etapas: i) particionamento da superfície terrestre do Landsat temperatura (LST) para derivar o coeficiente de estresse hídrico da cultura (Ks), ii) estimar a umidade diária do solo na zona radicular (RZSM) a partir da integração de Ks derivado do Landsat em um modelo de balanço hídrico da cultura, iii) recuperar a irrigação no Escala de pixel Landsat e iv) estimativas agregadas de irrigação em escala de pixel na escala do campo de cultivo. O método é uma inovação testada em uma recuperação de irrigação em três áreas agrícolas por um período de quatro safras e avaliada em cinco lavouras de trigo de inverno sob diferentes técnicas de irrigação (gotejamento, inundação e sem irrigação). Obtenção da precisão do modelo para os valores acumulados sazonais ( $R \sim 0,95$  e  $RMSE \sim 44mm$ ) (INPE, 2022; NASA, 2022; Olivera-Guerra et al., 2020).

Os estudos extraídos para as análises e as descrições das características estão listados na **Tabela 1**.

**Tabela 1** Estudos extraídos para as análises

Estudo	Título do artigo	Autor(es)	Ano	Database
1	Evapotranspiration-based Irrigation System for Mustard Green Crop Cultivation using Public Weather Forecast	(Dela Cruz et al., 2020)	2020	IEEE
2	Modeling evapotranspiration changes with managing Japanese cedar and cypress plantations	(Komatsu, 2020)	2020	ScienceDirect
3	Measurement and simulation of the water storage pit irrigation trees evapotranspiration in the Loess Plateau	(Meng et al., 2019)	2019	ScienceDirect
4	Comparing different methods for determining forest evapotranspiration and its components at multiple temporal scales	(Tie et al., 2018)	2018	ScienceDirect
5	Capability of Sentinel-2 data for estimating maximum evapotranspiration and irrigation	(Vanino et al., 2018)	2018	DataScience

Estudo	Título do artigo	Autor(es)	Ano	Database
	requirements for tomato crop in Central Italy			
6	Modeling deficit irrigation-based evapotranspiration optimizes wheat yield and water productivity in arid regions	(Kheir et al., 2021)	2021	ScienceDirect
7	Simulating on the effects of irrigation on jujube tree growth, evapotranspiration and water use based on crop growth model	(Bai et al., 2021)	2021	ScienceDirect
8	Assessing the performance of a large-scale irrigation system by estimations of actual evapotranspiration obtained by Landsat satellite images resampled with cubic convolution	(Awada et al., 2019)	2019	ScienceDirect
9	Evapotranspiration of a willow cultivar ( <i>Salix miyabeana</i> SX67) grown in a full-scale treatment wetland	(Frédette et al., 2019)	2019	ScienceDirect
10	Dynamics of evapotranspiration partitioning for apple trees of different ages in a semiarid region of northwest China	(Wang & Wang, 2017)	2017	ScienceDirect
11	Can the drip irrigation under film mulch reduce crop evapotranspiration and save water under the sufficient irrigation condition?	(Qin et al., 2016)	2016	ScienceDirect
12	Developing irrigation water conservation strategies for hybrid bermudagrass using an evapotranspiration-based smart irrigation controller in inland southern California	(Haghverdi et al., 2021)	2021	ScienceDirect
13	Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept	(Liao et al., 2021)	2021	ScienceDirect
14	Optimization of irrigation scheduling for barley crop, combining AquaCrop and MOPECO models to simulate various water-deficit regimes	(Martínez-Romero et al., 2021)	2021	ScienceDirect
15	Transpiration and evaporation of grapevine, two components related to irrigation strategy	(Montoro et al., 2016)	2016	ScienceDirect
16	Evaluating deficit irrigation scheduling strategies to improve yield and water productivity of maize in arid environment using simulation	(Attia et al., 2021)	2021	ScienceDirect
17	Prediction Model of Transpiration Rate of Strawberry in Closed Cultivation Based on DBN-LSSVM Algorithm	(Shuaishuai et al., 2018)	2018	ScienceDirect
18	Water use efficiency of corn among the irrigation districts across the Duero river basin (Spain): Estimation of local crop coefficients by satellite images	(Segovia-Cardozo et al., 2019)	2019	ScienceDirect
19	Optimizing preplant irrigation for maize under limited water in the High Plains	(Kisekka et al., 2017)	2017	ScienceDirect
20	Irrigation retrieval from Landsat optical/thermal data integrated into a crop water balance model: A case study over winter wheat fields in a semi-arid region	(Olivera-Guerra et al., 2020)	2020	ScienceDirect
21	A reinforcement learning approach to irrigation decision-making for rice using weather forecasts	(Chen et al., 2021)	2021	ScienceDirect
22	A new solution of high-efficiency rainwater irrigation mode for water management in apple plantation: Design and application	(Sun et al., 2022)	2022	ScienceDirect
23	Development of a transpiration model for precise tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	(Jo & Shin, 2021a)	2021	ScienceDirect



Estudo	Título do artigo	Autor(es)	Ano	Database
	irrigation control under various environmental conditions in greenhouse			
24	Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a smart irrigation management system	(Mérida García et al., 2018)	2018	ScienceDirect
25	Determination of the water requirement and crop coefficient values of sugarcane by field water balance method in semiarid region	(Dingre & Gorantiwar, 2020)	2020	ScienceDirect
26	Determination of the water requirement and crop coefficient values of sugarcane by field water balance method in semiarid region	(Dingre & Gorantiwar, 2020)	2019	Web of Science
27	Random forest techniques for spatial interpolation of evapotranspiration data from Brazilian's Northeast	(da Silva Júnior et al., 2019)	2019	Scopus
28	Using soil moisture sensors for automated irrigation scheduling in a plum crop	(Millán et al., 2019)	2019	Scopus
29	An automatic irrigation control system for soilless culture of lettuce	(Z. Liu & Xu, 2018)	2018	Scopus
30	Automated irrigation systems for wheat and tomato crops in arid regions	(Al-Ghobari et al., 2017)	2017	Scopus
31	Ensemble forecasting of short-term system scale irrigation demands using real-time flow data and numerical weather predictions	(Perera et al., 2016)	null	Scopus
32	Water use efficiency in irrigated "Syrah" grape plantation at são francisco river valley	(Segovia-Cardozo et al., 2019)	2016	Scopus

Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o StAt e Excel (LaPES, 2020; Microsoft Corporation, 2016).

Ainda usando satélites Vanino et al. (2018), realizaram a exploração do potencial do sensor Multispectral Instrument (MSI) a bordo do Sentinel-2A para estimar parâmetros de cultivo, principalmente albedo superficial ( $\alpha$ ) e índice de área foliar (IAF) que influenciam a dinâmica da evapotranspiração potencial (Exigências de ETp) e Água de Irrigação (IWR) da cultura do tomate para processamento (*Solanum lycopersicum* L.). O máximo ETp de tomate foi calculado de acordo com a equação FAO Penman-Monteith (FAO-56) - (Penman, 1948), com a adequação dos valores dos parâmetros do dossel derivados do Sentinel-2A em correlação com os dados meteorológicos diários. A comparação foi da evapotranspiração real da cultura (ETa) derivada do balanço hídrico do solo (SWB) no modelo de Política Ambiental Integrada ao Clima (EPIC) e calibrado com a Umidade do Solo da Zona Raiz in-situ (RZSM). O experimento ocorreu em uma fazenda em Tarquinia, Itália, por um período de 2 anos. Os resultados mostraram crescimento do dossel, evapotranspiração máxima (ETp) e IWR inferidos com precisão seguindo padrões sazonais de precipitação e temperatura do ar. A IWR líquida estimada foi de 272 mm em 2016 e 338 mm em 2017. A estimativa foi inferior à praticada pelo agricultor nas microirrigações por aspersão e gotejamento, que foi de 364 mm (microgotejamento de 276 mm e aspersão de 88 mm) e 662 mm (574 mm de irrigação

por gotejamento e 88 mm de irrigação e aspersão). Os resultados apontam para a adequação do Sentinel-2A na previsão da demanda de água para tomates (Vanino et al., 2018).

Awada et al. (2019) criaram um algoritmo para o balanço de energia da superfície da Terra, via imagens de satélite do Landsat 5 Thematic Mapper (TM). O processo adota o método de 'convolução cúbica' por três temporadas. Adoção de áreas com irrigação rotativa automatizada com estudos de consumo de água ao longo do ano e estação meteorológica para coleta de dados para comparação. O modelo possibilitou a quantificação das ETa instantâneas, diárias, mensais e sazonais, além de avaliar o desempenho do sistema de irrigação, de forma que foi possível identificar que o sistema permite economia de 16% a 26% do consumo de água (Awada et al., 2019).

No estudo de Segovia-Cardozo, avalia-se a eficiência do uso da água na cultura do milho, próximo ao rio Douro, com base na evapotranspiração da cultura. As análises foram realizadas em 4 localidades de 2014 a 2017. As estimativas de evapotranspiração foram geradas com base em imagens de satélite correlacionadas com dados de uma assessoria. Houve pequenas diferenças entre os valores de kc de cada distrito, mas as necessidades brutas de irrigação mostraram grandes diferenças (Segovia-Cardozo et al., 2019).

O estudo de Dela Cruz et al. (2020), baseia-se num sistema que metrificou a evapotranspiração (ET) numa cultura de mostarda, correlacionando informações de temperatura, humidade, radiação solar e velocidade do vento, com dados de uma Estação Meteorológica Microclimática e de um Centro Meteorológico Público de Previsão. Os dados foram utilizados na inferência pelo Método de Penman-Monteith. Aplicado 3 métodos de irrigação diferentes: Manual; Irrigação; e Irrigação Automática baseada em ET (Penman, 1948). Os resultados mostraram uma conservação de 71,70% de água em relação ao sistema de irrigação manual, sendo que na irrigação com ET utilizando Estação Meteorológica Microclimática, conservou 71,81% de água em relação ao sistema de irrigação manual (Dela Cruz et al., 2020).

Vemos um estudo que avalia algoritmos para interpolação espacial de dados de evapotranspiração em termos de precisão e desempenho. Compare estratégias convencionais como: Inverse Distance Weighting (IDW), Ordinary Kriging (OK), estratégias de aprendizado de máquina representadas por Random Forest (RF) e uma variação Random Forest para previsões espaciais (RFsp) (Amorim, 2009; Costa Filho et al., 2019; G. S. de Souza et al., 2010). A análise contou com dados de evapotranspiração de estações meteorológicas na região Nordeste do Brasil a partir de janeiro de 2017. A validação foi realizada por cruzamento leave-one-out na medida de precisão dos

algoritmos de interpolação, podendo comprovar que os RF geram resultados com maior precisão na estimativa da evapotranspiração de referência em relação aos métodos convencionais. Possibilitando uma redução de aproximadamente 50% da margem de erro. Verificou-se que o RFsp não teve desempenho melhor que o RF, gerando resultados muito semelhantes ao IDW e OK. Além disso, IDW teve o menor tempo ao executar as análises para criar o modelo de interpolação, teve os menores tempos de previsão em janeiro de 2017 (da Silva Júnior et al., 2019).

Ao comparar os métodos de determinação, o estudo de Tie et al. (2018), utilizou diferentes tipos de sensores e métricas, avaliando: fluxo de seiva; dados meteorológicos; umidade do solo em níveis de 100mm a 800mm com espaçamento de 100mm; e sensores de umidade relativa em duas alturas (2m e 5m), para medir o balanço de energia pela razão de Bowen e sistemas de barragens (Bowen, 1926; Thomas et al., 2019). Os resultados indicam que o procedimento de fluxo de seiva, levando em consideração as diversidades de tipos de floresta e espécies de árvores, produziu uma estimativa da evapotranspiração florestal baseada em componentes que convergiram com uma estimativa baseada na covariância de vórtices nas escalas de tempo de ano, mês e dia, enquanto a estimativa da evapotranspiração florestal com base no balanço hídrico do solo também foi qualitativamente consistente com a estimativa baseada na covariância de redemoinhos na escala diária, considerando uma escala anual, a estimativa da evapotranspiração florestal baseada no balanço hídrico foi significativamente maior do que a estimativa baseada na covariância do vórtice, o que provavelmente pode resultar do escoamento não desprezível do lençol freático causado por regolito amplamente distribuído e rochas com rachaduras sob o solo e em a escala subdiária, o curso diurno da estimativa de transpiração do dossel com base no fluxo de seiva ficou significativamente atrás da estimativa de evapotranspiração da floresta, com base na covariância do vórtice, que pode ser fisiologicamente devido ao armazenamento de água no caule e à condutividade hidráulica do caule. Os resultados nesta região podem ter muito significado referencial para a estimativa da evapotranspiração florestal e avaliação do método em regiões com condições ambientais semelhantes (Tie et al., 2018).

Estudo da dinâmica dos componentes da evapotranspiração (interceptação da copa, evaporação do solo e transpiração) para macieiras de diferentes idades (7 e 17 anos) durante o ciclo experimental em escala diária, avaliando os componentes da evapotranspiração, precipitação interceptada (calculada), transpiração das árvores (sondas de dissipação térmica) medida a 1 min a cada 30 min, evaporação do solo (microlisímetro) e ET<sub>0</sub> - calculado pela fórmula de Penman-Monteith (Allen & FAO, 1998;

Penman, 1948), usando temperatura máxima e mínima diária a 2m do solo, umidade relativa máxima e mínima, velocidade do vento a 10m de altura e usando log para estimar 2m e pressão atmosférica, de maio a setembro de 2012, 2013 e 2014, no condado de Changwon, em o Loess Plateau, com foco na resposta da evapotranspiração e sua partição com a idade da árvore. As idades afetaram minimamente a transpiração do solo, necessitando de mais estudos sobre a transpiração, embora seja necessária uma melhor calibração, o estudo foi capaz de determinar que as idades afetam a evapotranspiração e sugeriu que a evapotranspiração é maior em árvores mais velhas (Wang & Wang, 2017).

Jo and Shin, (2021) desenvolver um modelo de transpiração de tomate corrigindo a relação entre a taxa de transpiração e os fatores ambientais, medindo a taxa de transpiração real. A transpiração das culturas foi estimada com base em diversos modelos, como os de Penman-Monteith, Stanghellini, Shuttle-Wallance e Priestley-Taylor. A taxa de transpiração das lavouras foi verificada por meio de diversas medidas, como balanço hídrico do solo, condutividade estomática por meio de porômetro, fluxo de seiva e variação do peso da lavoura por meio de sensor de peso. A taxa de transpiração real da cultura, que foi medida usando uma célula de carga, e as alterações de peso calculadas em intervalos de 10 minutos. Os resultados experimentais revelaram que a taxa de transpiração não apresentou uma relação linear com os modelos iniciais de Rad ou VPD, portanto, um modelo de transpiração foi desenvolvido compensando o Rad e o VPD com base na equação de Penman-Monteith existente. Os resultados da verificação dos modelos desenvolvidos, tanto Rad quanto VPD foram ajustados e aplicados ao modelo de transpiração, a taxa de transpiração da cultura foi estimada com mais precisão em comparação com os outros modelos desenvolvidos (Jo & Shin, 2021b; Penman, 1948; Priestley & Taylor, 1972; Stanghellini, 1987).

Software de modelagem agrônômica usado por Kheir et al. (2021), em base com três variedades de trigo (CERES, CROPSIM e N-Wheat), sendo aplicado com um software Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Tecnologia Agro (DSSAT) (Sivalakshmi et al., 2021; Thomas et al., 2019), calibrado e avaliado usando três conjuntos de dados da estação de crescimento e, em seguida, usado para simulação de longo prazo da produção de trigo e eficiência do uso da água sob irrigação com diferentes frações de evapotranspiração (ETc) da cultura. A fim de calibrar e avaliar os modelos CERES, CROPSIM e N-Wheat usando conjuntos de dados ETc baseados em irrigação, determinados pela cultura existente (CE) para uma nova cultura de trigo de alto rendimento (Gizé 171), desta forma, aplicar modelos na produção de água e previsão de produtividade usando irrigação baseada em ETc e simulação de longo prazo durante um período de 1991-2020, em 10 locais diferentes ao longo do rio Nilo egípcio, conseguindo

explorar o tratamento de irrigação recomendado, obtendo maiores rendimentos e produtividade da água em comparação com as práticas dos agricultores. Esta é a primeira tentativa de avaliar a evapotranspiração (ET) baseada em irrigação em culturas de trigo em vários locais e com dados meteorológicos de longo prazo. Conseguiu um bom ajuste de dados e observou que para algumas culturas de trigo a irrigação deve ter um índice de déficit em relação à  $ET_c$  (Kheir et al., 2021).

Outro experimento com o mesmo software, apresentado no estudo de Attia et al. (2021), calibrar e avaliar o modelo DSSAT usando conjuntos de dados experimentais detalhados sobre rendimento de milho (*Zea mays* L.) e produtividade de água em um ambiente mediterrâneo árido e determinar os impactos de várias estratégias de programação de irrigação sobre rendimento de milho e produtividade de água em solos arenosos áridos produzindo recomendações de cronograma de irrigação que maximizam o benefício marginal por unidade de água aplicada. Simulações ao longo de um período de longo prazo (1984-2018), usando modelos bem calibrados foram realizadas e incluíram três estratégias de programação de irrigação: (i) programação de irrigação baseada em água do solo, (ii) programação de irrigação baseada em ET, e (iii) escala de crescimento de irrigação baseada em ET. Quatro níveis de esgotamento máximo permitido (MAD) do teor de água disponível no solo (AWC) foram testados usando a opção de auto-irrigação DSSAT. Os resultados indicaram que MAD 50% é recomendado para irrigação programada em solos arenosos áridos para economia potencial de água de irrigação sem perda de rendimento inaceitável. O limite baseado em ET consistiu em uma combinação de quatro gatilhos cumulativos de limite de ET líquido (ETH) de 14, 21, 28 e 35 mm e cinco níveis de substituição de ET de 50%, 70%, 90%, 110% e 130% ET usando a opção de irrigação automática baseada em DSSAT ET (Attia et al., 2021).

O estudo de Kisekka et al. (2017), teve como objetivo determinar a quantidade de irrigação pré-plantio e combinações de capacidade de irrigação que otimizam o rendimento, a produtividade da água e a eficiência do uso da chuva (PUE) e minimizam as perdas de água por evaporação do solo antes do plantio. de plantio (Kisekka et al., 2017). A pesquisa envolveu a combinação de dados experimentais de curto prazo com dados climáticos históricos de longo prazo (1986-2014) e modelagem de simulação de culturas para determinar o manejo ideal da água de irrigação pré-plantio nas terras baixas dos Estados Unidos. Foi realizado um planejamento experimental fatorial pré-plantio com irrigação de 0-76mm e capacidade de irrigação de 2,5; 3,8; 5mm/dia. As parcelas experimentais tinham 36 m de comprimento por 18 m de largura, com irrigação como principal fator de parcela e taxa de semeadura como subparcelas (3x36m) com

espaçamento entre linhas de 76,2 cm. Modelo RZWQM2 (versão 3.0) com módulo de crescimento de cultura DSSAT-CSM CERES-Maize 4.0 incorporado foi usado. No RZWQM2, o fluxo e a redistribuição da água insaturada do solo foram modelados usando uma equação unidimensional de Richards. A evaporação potencial e a demanda de transpiração da atmosfera foram calculadas usando o modelo ET de Shuttleworth (Shuttleworth & Wallace, 1985), em RZWQM2 sendo uma extensão do modelo Penman-Monteith ET (Penman, 1948), mas o primeiro leva em consideração a cobertura incompleta do dossel e a altura da planta nas estimativas de evaporação e transpiração potenciais. A absorção real de água pela raiz descrita pelo termo sumidouro na equação de Richards foi calculada numericamente usando o procedimento de Nimah (Nimah & Hanks, 1973). A absorção real de água pela raiz, a evaporação potencial e a transpiração potencial foram usadas no cálculo dos fatores de estresse hídrico usados no CERES-Milho para modular o processo de crescimento da planta, como o crescimento das folhas, à medida que a água do solo é esgotada. O modelo CERES-Maize embutido no RZWQM2 é um modelo de colheita mecânico baseado em radiação que previu o crescimento e desenvolvimento do milho com base no clima (chuva, radiação solar, temperatura máxima e mínima, em menor grau fotoperíodo). Através da série histórica foi possível construir um modelo que estima com a ET e a quantidade de água no solo e com isso foi possível estimar quais níveis de pré-irrigação são mais adequados para o plantio de milho. O estudo também demonstrou que o tipo de irrigação pode afetar a evapotranspiração, em que o gotejamento subterrâneo tem uma taxa de evapotranspiração menor do que um sistema de aspersão (Kisekka et al., 2017).

A modelagem também foi utilizada por Bai et al. (2021), para a calibração dos parâmetros de entrada da cultura do modelo WOFOST para simular o crescimento limitado de jujuba na água, avaliar o desempenho do modelo e descrever quantitativamente a resposta de rendimento, evapotranspiração real (TRa) e eficiência de uso da água (UAE) para diferentes tratamentos de irrigação. As árvores também foram conduzidas até sua maturação e medidas de produção e evapotranspiração foram introduzidas no modelo WOFOST (Diepen et al., 1989; FAO, 2022). A calibração dos dados fenológicos foi realizada contabilizando-se o período de floração e maturação. Os parâmetros de massa dos frutos foram coletados e selecionados aleatoriamente e secos a 85°C. O modelo demonstrou refletir bem os efeitos da irrigação e das informações meteorológicas sobre a evapotranspiração, de modo que a irrigação afetou significativamente a produtividade, especialmente em seus extremos (Bai et al., 2021).

Martínez-Romero et al. (2021), usa os modelos AquaCrop e MOPECO para calcular e comparar as funções de produção de água das culturas e produtividade de água de

irrigação gerada por várias estratégias de irrigação (Anjos, 2015; Oliveira, 2018). Fornecido por cada modelo para cevada cultivada tipicamente irrigada na área. Além disso, avalia o desempenho de ambos os modelos com um experimento de campo de 3 anos aplicando a metodologia de irrigação por déficit regulado otimizada para volumes limitados de água de irrigação (ORDIL) na cultura da cevada. Os dois modelos foram programados com os mesmos parâmetros de entrada considerando diferentes regimes de irrigação de um experimento de três anos, alguns parâmetros fenológicos foram obtidos de bibliografias. Ambos os modelos fornecidos tiveram um desempenho adequado na simulação da produtividade final da cultura (margem de erro inferior a  $0,50 \times 10^3 \text{ kg ha}^{-1}$ ), bem como da cobertura do dossel e da evolução da biomassa acima do solo, no caso do AquaCrop, cujos indicadores de qualidade de ajuste foram próximos de 0,90 ou superior. Em termos de evapotranspiração da cultura, o AquaCrop simulou um valor médio 12% superior ao MOPECO. Os autores concluem que ambos são complementares e seu uso dependerá das necessidades do usuário final. Assim, o MOPECO oferece uma gama mais ampla de estratégias de irrigação, enquanto o AquaCrop oferece informações mais detalhadas sobre a resposta fisiológica da cultura durante o seu desenvolvimento, sendo os resultados da simulação suficientemente precisos em ambos (Martínez-Romero et al., 2021).

Sistemas de modelagem envolvendo predição no estudo de Shuaishuai et al. (2018), seleciona morangos em uma estufa solar de crescimento fechado como objeto de pesquisa, com condições de abastecimento de água suficientes. de folhas de morangueiro, predizendo assim a taxa de transpiração do morangueiro através de parâmetros ambientais em casa de vegetação. Primeiro, vetores de características multiescala de parâmetros meteorológicos de efeito estufa foram extraídos usando o método de rede de crença profunda (DBN) para eliminar a correlação de variáveis, melhorando assim a previsibilidade e generalização do modelo. Os vetores de características extraídos foram usados para treinar e otimizar o modelo LSSVM, obtendo finalmente o modelo para prever a taxa de transpiração de folhas de morango em uma estufa solar de cultivo fechado, que foram comparados em experimentos com a rede neural BP tradicional e o modelo LSSVM. A rede de sensores sem fio para medição em tempo real foi adotada no ambiente de estufa. Os principais parâmetros utilizados incluem temperatura do ar, umidade do ar, luz e temperatura do substrato, estes foram enviados para o centro de gerenciamento de dados através do gateway inteligente e o fotossintético portátil LI-6400XT foi usado para coletar a taxa de transpiração do morango durante o período de frutificação. O modelo desenvolvido apresentou

resultados superiores aos métodos tradicionais quando aplicado ao cultivo de morango em casa de vegetação (Shuaishuai et al., 2018).

A modelagem baseada em dados históricos descritos no estudo de Komatsu (2020), examina um modelo que prevê com sucesso a evapotranspiração total para cedro e cipreste e mudanças na evapotranspiração com desbaste e corte raso, que tem dados de entrada de campo como diâmetro do caule, altura do peito e densidade e dados meteorológicos. O modelo foi subdividido em elementos de evapotranspiração (Et, Ei e Ef) e um modelo foi comparado com dados bibliográficos da região. Demonstra que o acoplamento do modelo e das tabelas de rendimento permite a previsão da evapotranspiração anual para diferentes cenários de manejo e, assim, a avaliação de recomendações de políticas públicas. O modelo também sugere que a diminuição da evapotranspiração anual com o envelhecimento pode mais que triplicar com o desbaste a uma taxa de 50%, embora essa sugestão deva ser testada por estudos observacionais (Komatsu, 2020).

Chen et al. (2021) usa uma estratégia de tomada de decisão de irrigação Q-learning (DQN) profunda com base em previsões meteorológicas de curto prazo para determinar a irrigação ideal, o método é demonstrado para arroz cultivado em Nanchang, China. A irrigação foi decidida por duas estratégias de tomada de decisão de irrigação, ou seja, irrigação convencional (ou seja, irrigação por inundação comumente usada pelos agricultores locais) e irrigação baseada em Q-learning profundo (DQN). Os resultados mostraram que o desempenho da previsão diária de chuva foi aceitável, com potencial para aprendizado e exploração. A estratégia de irrigação DQN teve forte generalização após o treinamento e pode ser usada para tomar decisões de irrigação usando previsões meteorológicas. Neste caso, os resultados da simulação indicaram que, em comparação com as decisões de irrigação convencional, a irrigação DQN reduziu o consumo de água, resultando em economia de água de irrigação de 23 mm e redução de drenagem em 21 mm e tempo de irrigação em 1,0 vez em média, sem redução no rendimento. A estratégia de irrigação DQN de aprender com experiências anteriores de irrigação e incertezas nas previsões meteorológicas evitou os riscos de uma previsão meteorológica imperfeita (Chen et al., 2021).

Perera et al. (2016), desenvolveu um sistema de previsão ensemble para gerar previsões de demanda de irrigação (5 dias) em escala probabilística de curto prazo em tempo real; um modelo de série temporal multivariado determinístico. Construiu um modelo usando dados históricos de estações meteorológicas coletadas usando o Australian Community Climate and Earth System Simulator – (ACCESS). O modelo estima sucessivamente e compara os dados previstos com os dados recolhidos, após calibração,



os dados são enviados para o sistema de controlo de rega SCADA (Ackerley & Dommenget, 2016; V. da C. Pereira et al., 2016).

Alguns autores estudam a interferência de cada parcela na evapotranspiração como Dingre; Gorantiwar (2020), relatam como estimar com mais precisão o coeficiente de cultura da cana-de-açúcar, estudos de campo foram conduzidos durante duas temporadas de 2015 e 2016 em solos argilosos para determinar a evapotranspiração da cultura e os coeficientes de cultura ( $K_c$ ) da cana-de-açúcar para a região semiárida da Índia. Além da precipitação, o planejamento da irrigação foi baseado na abordagem do balanço hídrico do campo. A evapotranspiração da cultura foi determinada pelo balanço hídrico do campo e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pela abordagem de Penman-Monteith, enquanto o coeficiente da cultura foi calculado usando a metodologia padrão FAO-56. 1388 milímetros, respectivamente (Allen & FAO, 1998; Penman, 1948). A evapotranspiração média da safra de cana-de-açúcar de dois anos estimada pelo método de balanço hídrico de campo foi de 1339 mm/ano. A necessidade de água para irrigação e a precipitação efetiva foram de 991 mm/ano e 424 mm/ano, respectivamente. Os resultados de dois anos mostraram que havia uma notável simetria entre o  $K_c$  obtido das medições do balanço hídrico de campo e o  $K_c$  relatado pela FAO-56. Os valores de  $K_c$  determinados para os estádios de perfilhamento, alto crescimento e maturação da cana-de-açúcar foram 0,70, 1,20 e 0,78, respectivamente. Os valores de  $K_c$  foram 25,5%, 4% e 20,4% menores durante o perfilhamento, alto crescimento e estágio de maturidade, respectivamente, em comparação com os valores FAO-56  $K_c$ . A equação polinomial de ordem 2 foi ajustada com o coeficiente de cultivo como variável dependente e a razão de dias após o transplante para o período total de cultivo como variável independente (Dingre & Gorantiwar, 2020; Penman, 1948).

Pereira et al. (2016), ao estimar a eficiência do uso da água (EUA) na cultura irrigada da videira 'Syrah' no Vale do Baixo São Francisco, com base na produtividade em função da evapotranspiração e transpiração máxima da cultura. Para o objetivo proposto, a evapotranspiração da cultura foi determinada pelo balanço de energia baseado no método da razão de Bowen ( $ET_{cBERB}$ ) (Bowen, 1926), enquanto a transpiração máxima ( $TR$ ) foi estimada pelo modelo Penman-Monteith modificado (Penman, 1948), com base no índice de área foliar da cultura. Os dados micrometeorológicos foram monitorizados durante um ciclo de produção através de uma estação automática localizada na vinha. A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) também foi calculada ao longo do experimento pelo método de Penman-Monteith, parametrizado no boletim FAO 56 (Allen et al., 2006; Penman, 1948). O  $ET_0$  e o  $ET_{cBERB}$  corresponderam ao valor total de 474,0 e 376,4 mm/ciclo, com valor médio diário de 3,9 e 3,1 mm, respectivamente (Bowen, 1926). A  $TR$

variou entre 3,5 e 0,9 mm/d, com um volume total durante o ciclo de 284,4 mm. A EUA, com base no total de água consumida e transpirada, foi de 1,17 kg m<sup>-3</sup> e 1,55 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente. O método BERB e o modelo de Penman-Monteith modificado para plantas isoladas mostraram resultados confiáveis para estimar a EUA sob as condições climáticas da região do Submédio do Vale do São Francisco. No entanto, mais estudos precisam ser realizados principalmente nesta região semiárida com a cultura da videira para produção de vinho, onde a maior parte da pesquisa voltada para o manejo do vinhedo ainda está em desenvolvimento (V. da C. Pereira et al., 2016).

Assim, percebe-se que a estimativa da evapotranspiração pode ser associada a diferentes tipos de manejo, conforme descrito por Meng et al. (2019). No estudo foi desenvolvido um modelo que estima a evapotranspiração de macieiras com poços de reservatório, visando modificar o modelo Shuttleworth-Wallace (SW) para estabelecer um modelo prático (SWp), que possa prever com precisão a evapotranspiração do pomar (WSPI) analisando de forma abrangente a mecanismo de erro de predição do modelo SWp (Shuttleworth & Wallace, 1985). Precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento foram verificados por uma estação meteorológica Adcon no meio do pomar, com medições a cada 15 minutos. Nas regiões, foi utilizada uma estação portátil NK-3500 com amostragem às 8h, 14h e 18h. A evapotranspiração foi medida por microlisímetro e a taxa de fluxo de seiva. Foi utilizada uma haste de difusão térmica da Dynamax, Houston, EUA, coberta com cola e envolta com filme plástico e alumínio no porta-malas para evitar a interferência da radiação solar. A umidade do solo foi medida com um tubo de monitoramento TRIME-PICO-IPH TDR, estabelecendo assim três modelos: Penman-Monteith (PM), Shuttleworth-Wallace (SW) e prático Shuttleworth-Wallace (SWp). Estes foram comparados com os dados experimentais. Os resultados mostram que o modelo de evapotranspiração de árvores de irrigação de poços de armazenamento de água é estabelecido, e o coeficiente de eficiência de Nash do modelo é 0,93, a variação diurna da evapotranspiração obtida pelos três modelos de PM, SW e SWp são iguais ao valor medido e que o valor simulado do modelo PM é 11,45% menor que o valor medido, o valor simulado do modelo SWp é 24,01% maior que o valor medido e o valor simulado do modelo SWp é 5,55% maior que o valor medido, e a análise de sensibilidade é realizada nas seis variáveis de resistência em SWp, o que revela o mecanismo de erro de simulação de SWp. Assim, o SWp melhorou significativamente a precisão em relação aos modelos PM e SW e pode ser usado para estimar a evapotranspiração sob condições de irrigação com poços de armazenamento de água (Meng et al., 2019; Penman, 1948; Shuttleworth & Wallace, 1985).

Frédette et al. (2019) mede e modela a evapotranspiração de uma cultivar de salgueiro, *Salix miyabeana* (SX67), para fornecer as taxas de ET e coeficiente de cultivo para esta espécie em zonas úmidas temperadas, salgueiros são plantados em uma zona úmida que recebe efluentes do tratamento de postes de madeira, a medida de condutância instantânea ( $G_s$ ) representa a taxa de troca de vapor de água da folha para a camada limite (camada limite), medida por um porômetro de estado estacionário (Decágono, SC1) ou índice de área foliar foi extrapolado de um indivíduo e considerando um fator para diferenciar indivíduos de borda e centro. Para estimar a ET real da zona úmida, foi utilizado o método do balanço hídrico (Kadlec & Wallace, 2009), e para cultura ET, portanto, em comparação com a referência ET modificada de Penman-Monteith (Allen et al., 2006). A relação entre parâmetros meteorológicos e  $G_s$  foi testada com regressões e teste de Tukey no software R (Ihaka & Gentleman, 2018). Considerando a grande abundância de água, o estudo definiu que a evapotranspiração está altamente correlacionada com a condutância estomática ( $G_s$ ) e que um modelo descrito com  $G_s$  médio, índice de área foliar e déficit de pressão de vapor d'água poderia prever a evapotranspiração em áreas úmidas (Frédette et al., 2019).

Mérida García et al. (2018) descreve um modelo inteligente de gestão de irrigação baseado no uso de energia solar para fornecer água de irrigação diretamente à rede, sem elementos intermediários de armazenamento (caixas e barragens). Foi desenvolvido um sistema em MATLAB chamado Smart Photovoltaic Irrigation Manager (SPIM) (The MathWorks, 2022), que considera as variáveis climáticas e sazonais da cultura. O cálculo da evapotranspiração foram dados de estações meteorológicas próximas ao local (Allen et al., 2006). Portanto, a estratégia foi baseada no balanço hídrico, sempre considerando o dia anterior e registrando os setores que já haviam sido irrigados, dando preferência aos setores com menor consumo de energia. Os resultados mostraram que o manejo adequado do sistema de irrigação fotovoltaico forneceu água suficiente para suprir as necessidades de irrigação das lavouras durante todo o período de irrigação e evitou a emissão de 1,2tn de CO<sub>2</sub>, utilizando apenas a energia gerada pelos painéis solares (Mérida García et al., 2018).

Sun et al. (2022), combina a tecnologia de captação de água da chuva com um sistema de irrigação solar inteligente equipado com sensores de umidade do solo para formar um modo de irrigação de água da chuva (HRI) de alta eficiência adequado para pomares e conduz um experimento com 3 tratamentos e um controle: T1 (HRI) – quando a umidade do solo estiver abaixo de um limite, irrigue; T2 (captação sem controle de irrigação); T3 (captação de águas pluviais); CK (sem irrigação), T2 e T3 têm irrigação intermitente a cada 10 dias. O sistema de controle de irrigação de precisão usa sensores

de umidade do solo para coletar informações (TDR-315L Acclima, Inc.) e carregá-las no monitor de irrigação (GG-002C-3G). O monitor de irrigação passa para o computador para analisar e decidir quando a irrigação será realizada, desta forma, não só as raízes das culturas podem ter um teor de umidade suficiente no solo e atender às necessidades de crescimento das plantas, mas também podem estabilizar a humidade, próximo de um determinado valor pré-definido, evitando o desperdício de recursos hídricos provocado pela rega excessiva. Comparado com o uso apenas da coleta de água da chuva e combinado com métodos tradicionais de irrigação (SDI), o modo HRI pode aumentar o rendimento da maçã em 56,2% e 22,0%, o uso eficiente da água em 40, 4% e 12,6%, respectivamente, proporcionando um retorno financeiro em 2 anos (Sun et al., 2022).

Assim como os manejos mais tradicionais estudados por Qin et al. (2016), sobre evapotranspiração usando dois métodos de irrigação: irrigação tradicional de borda e irrigação por gotejamento. Duas áreas foram divididas, uma com sistema de gotejamento e outra com sistemas tradicionais de borda, a evapotranspiração foi analisada pelos métodos de covariância de borda (CE), balanço de energia de razão de Bowen (BREB) e balanço de água no solo (WB) (Bowen, 1926). Em comparação com a irrigação de borda tradicional, a irrigação por gotejamento induziu maior frequência de irrigação, menor quantidade de irrigação e profundidade de irrigação e menor percolação profunda. Além disso, a irrigação por gotejamento reduziu ligeiramente a evapotranspiração média diária do milho, mas pode acelerar o crescimento da cultura e encurtar as fases de crescimento. Assim, a tecnologia reduziu a evapotranspiração total do milho em todos os estágios de crescimento em menos de 10% durante os dois anos (Qin et al., 2016).

Montoro, Mañas e López-Urrea (2016) realizam um experimento para quantificar a evaporação e transpiração da videira Tempranillo e os efeitos da frequência de irrigação na evaporação. Medições de transpiração e evapotranspiração da cultura da vinha Tempranillo sem limitação de água no solo foram realizadas em um lisímetro 3x3m com profundidade de 1,7m com precisão de 250g (0,03mm de água) de pesagem coberta com lona impermeável durante diferentes períodos. A estimativa da transpiração foi feita por dados micrometeorológicos e usando imagens de satélite para determinar a cobertura foliar e, portanto, o índice de vegetação, também medindo diretamente usando sensores de fluxo de seiva. Onde foi evidenciado que a transpiração e a evaporação estão relacionadas com o manejo da irrigação, portanto, irrigar com maior intensidade e com maiores espaços de tempo pode contribuir para a redução da evaporação nas videiras Tempranillo (Montoro et al., 2016).

Haghverdi et al. (2021), implementa estratégias autônomas de conservação de água e irrigação deficitária na área rural do sul da Califórnia, avaliando estratégias de irrigação de gramados em quantidade e frequência, determina níveis mínimos de irrigação, analisa a dinâmica da água do solo na superfície e desenvolve um termo de função de resposta de água de relva (TWRF) baseado em regressão para irrigação gerenciamento. No início do plantio, todos os tratamentos foram irrigados igualmente e, após o enraizamento, foi feito um sistema fatorial com 36 parcelas, 12 tratamentos de irrigação (6 lâminas de irrigação x 2 frequências de irrigação). A irrigação ocorreu à noite para evitar perdas por evaporação. Um regulador de pressão foi colocado a montante dos aspersores, utilizando dois sensores para medir a umidade do solo. Um controlador de irrigação inteligente (Weathermatic Smartline 4800) foi conectado a um sensor climático sem fio (SLW5) e usado para aplicar irrigação em todos os tratamentos. Um sensor de fluxo SLFSI-T10 (Telsco Industries, Inc, Garland, TX, EUA) foi usado para controlar o fluxo de água. Níveis de irrigação acima de 72% foram considerados aceitáveis para a cultura estudada e esses níveis de irrigação tornam as consequências de climas severos menos perceptíveis para as cultivares. A determinação do ET<sub>0</sub> local mostrou-se promissora, embora tenha sido superestimada em 5,7% em relação ao CIMIS ET<sub>0</sub> e mais estudos devem ser realizados utilizando a equação de Hargreaves. (Haghverdi et al., 2021).

Os métodos de irrigação podem ser avaliados usando medições de evapotranspiração Al-Ghobari et al. (2017), verifica se os sistemas eletrônicos de irrigação são eficazes na economia de água e avalia o efeito desses controladores usando sistemas de irrigação por gotejamento e aspersão. O experimento foi dividido em duas parcelas, onde uma foi irrigada manualmente e a outra automaticamente com um sistema - ET Sytem (Nunter Pro-C) - que foi escolhido devido ao custo-benefício. Os dados de ET foram calculados usando o sensoriamento de uma estação meteorológica usando as equações de Penman modificadas, versão FAO-56 (Allen et al., 2006). Os resultados revelaram que o uso eficiente da água (WUE) e a eficiência do uso da água para irrigação (IWUE) eram tipicamente maiores em sistemas de irrigação automatizados (AIS) do que em sistemas convencionais de controle de irrigação (CIS), proporcionando até 26% de economia de água (Al-Ghobari et al., 2017).

Liao et al. (2021), desenvolve um sistema de irrigação inteligente baseado em dados de umidade do solo em tempo real, no qual a quantidade dinâmica de água da cultura foi estimada usando as características espaço-temporais das distribuições de umidade do solo. Os dados de profundidade de absorção de água da cultura foram adquiridos usando um controlador central de irrigação para obter uma profundidade de

irrigação precisa em cada evento de irrigação, aplicado em um experimento de irrigação por gotejamento para tomate (*Lycopersicon esculentum*), sensores de umidade sem fio foram instalados para coletar dados de umidade em tempo real de um Perfil do solo de 0 a 100 cm, para comparação foi adicionada uma estação meteorológica (WS1800, Nertica, China), com isso, montou-se uma equação de regressão quantificando a profundidade e a dinâmica de absorção de água da cultura, essa equação foi utilizada para determinar a quantidade de irrigação e proporcionou uma economia na quantidade de água utilizada. A evapotranspiração do tomate calculada com dados de umidade do solo foi consistente com a calculada com dados meteorológicos internos, confirmando a confiabilidade dos dados (Liao et al., 2021).

Dingre and Gorantiwar (2020) implementaram um sistema de irrigação automatizado usando um PLC e sensores de umidade do solo em conjunto com um tanque classe A comparando diferentes níveis de irrigação para plantio de pereira, realizando um experimento de blocos casualizados com diferentes níveis de irrigação 120, 100, 80, 60 e 40% com 3 repetições. Foi ainda construído um sistema de rega autônomo com três fases: quadro elétrico, software e sistema de rega e depósito classe A. Junto ao tanque foi instalado um pluviômetro e a medição do tanque foi realizada por um transdutor de pressão. Uma vez que a quantidade de água de irrigação foi controlada, o escoamento foi considerado zero. A uma profundidade de 60-90 cm da camada do solo, o teor de umidade do solo foi medido usando as equações de calibração do sensor imediatamente antes da irrigação e um dia após a irrigação. A percolação profunda da profundidade efetiva de enraizamento (0-60 cm) foi determinada subtraindo as últimas medições. O estudo demonstrou que sistemas de irrigação automatizados por tanque classe A podem ser usados para determinar a umidade do solo e que sistemas de irrigação com percentual de 40-60% podem ser usados para regiões com escassez de água e 100-120% para regiões com abundância de água (Dingre & Gorantiwar, 2020).

Millán et al. (2019), avaliar um sistema de irrigação automatizado, que permite a definição de estratégias de irrigação por déficit regulado (IDR) em um pomar. Para o objetivo proposto, foi utilizado um dispositivo automatizado com um algoritmo que combina a programação da irrigação baseada no balanço hídrico com um mecanismo de ajuste por feedback usando 15 sensores capacitivos para medição contínua da umidade do solo. Os testes foram realizados em 2016 e 2017, em Vegas Bajas del Guadiana (Espanha), em uma parcela experimental de 'Red Beaut', uma cultivar de ameixa japonesa de maturação precoce. Foram estabelecidos três tratamentos de irrigação: controle, RDI e automático. O tratamento testemunha foi programado para cobrir as necessidades hídricas da cultura, uma irrigação deficitária pós-colheita (40% de

evapotranspiração da cultura). A estratégia ETc foi aplicada no tratamento RDI, enquanto o tratamento Automático simulou o RDI, mas sem intervenção humana. Após dois anos de testes, o sistema automatizado conseguiu “simular” o cronograma de irrigação programado por um especialista humano sem a necessidade de intervenção humana. Apesar dos bons resultados obtidos neste estudo, alguns aspectos do sistema podem ser melhorados, entre eles a avaliação automática da representatividade dos sensores de umidade do solo e a integração de um sensor que caracterize automaticamente o estresse hídrico da planta (Millán et al., 2019).

Liu e Xu (2018), utilizar uma malha com sensores e atuadores que se comunicam via zigbee para constituir um sistema de irrigação baseado nas condições climáticas da estufa, sensores de umidade do solo e sensores de temperatura “folha”. Alguns parâmetros foram estabelecidos para realizar a irrigação, de forma a permitir sempre um nível mínimo de umidade no solo ( $0,14\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ). Assim, o fim da irrigação é calculado considerando a sobreposição, o volume de irrigação se for maior ou igual à evapotranspiração da água da cultura e o teor de água na zona radicular for maior que o valor limite de irrigação sensor de umidade do solo usado: EC-5 (8,9 cm de comprimento, 1,8 cm de largura, 0,7 cm de profundidade, METER, Pullman, WA, EUA). O estudo obteve uma otimização quando comparado ao método manual e uma redução na quantidade de água utilizada (Z. Liu & Xu, 2018).

### Meta-análise Qualitativa

Realizou-se a meta-análise por meio do software Iramuteq® 0.7 alpha 2, com ‘*corpus textual*’ composto pelos textos dos 32 estudos na íntegra, tratados em arquivo de extensão UTF-8, composto por 6361 seguimentos de texto. Verificou-se a lexicografia para a frequência de palavras, análise multivariada, classificação hierárquica descendente e análise de similaridade. Tendo por base a estatística pelo método de Reinert dada pela fórmula:  $P(r) \approx 1/r \ln(1,78R)$  onde “r” é o número de palavras diferentes em um corpus linguístico para análise das classes de palavras e a distribuição  $\chi^2$  (Klant; Santos, 2021; Ratinaud, 2014; Souza et al., 2018).

Identificando 11235 formas, com 221731 ocorrências, 9560 lemas que são as formas lematizadas das palavras em construção lógica para interpretação, 7882 formas ativas de expressões e 1678 formas complementares de expressões, e 3918 hapax (palavras que aparecem uma única vez no conjunto dos 32 estudos). Identificou-se que as formas ativas tiveram uma frequência  $\geq 4:2472$ , com uma média de forma por seguimento de texto de 34,857884, sendo compostos por tão somente duas classes com





De igual modo a representação indica a baixa ou ausência de correlação dos estudos de Attia et al. (2021) e Montoro; Mañas; López-Urrea (2016) e em relação aos demais estudos. Pois estes dois estudos em especial possuem um foco maior na modelagem, tratando especialmente de questões referentes à: "performance", "predição", "simulação", "calibração", "acurácia", "viabilidade", "transpiração", "fatores" e "testes", com foco mais acadêmico de observação e desenvolvimento analítico de solução. Quanto aos demais, com foco na "produtividade", na "sensibilidade" dos "sensores", na "capacidade" e "eficiência" para a geração de resultados práticos.

### Qualidade do Estudo e Certeza da Evidência

Todo o processo de identificação, seleção e extração dos estudos foram observados requisitos de elegibilidade assegurando a composição pelos melhores trabalhos e de forma pareada pelo grupo de pesquisa para minimizar os riscos de viés. Sendo incluso somente estudos com taxa de score identificados pelo StArt acima de 60% (LAPES - LABORATÓRIO DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE SOFTWARE, 2020).

A meta-análise textual compreendida pela totalidade do "*corpus textual*" dos 32 estudos, com 6361 seguimentos de texto, obtendo-se  $P(r) \approx 96,15\%$  (Reinert) com significância  $p < 0,0001$ . Assegurando assim a qualidade e a certeza das evidências observadas no estudo.

### Considerações Finais

Objetivando responder ao tema da pesquisa diante do exposto neste estudo, buscou-se responder aos objetivos da pesquisa, de modo que para a questão: Quais os métodos automatizados para determinar a evapotranspiração existem? Entendeu-se que a metodologia dos diversos trabalhos experimentais usufruiu de diferentes sensores, dentre os quais os que mais se destacam são as estações metrológicas implementadas de temperatura do ar, umidade do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar e precipitação, lisímetros, porômetros, medidores de umidade do solo implantados em diferentes profundidades ou até mesmo aqueles utilizados como parâmetro único para irrigação autônoma. Os medidores de fluxo de seiva também apresentaram bons resultados, embora tenham relatado dificuldades em sua calibração mesmo utilizando técnicas como a cobertura com alumínio para reduzir a interferência da radiação solar (Meng et al., 2019).

Sendo que, os principais softwares encontrados nos trabalhos para aquisição de imagens de satélite foram o Landsat e o Sentinel-2A, os quais demonstraram com bons resultados os métodos de tratamento adequados, mas com limitações com a aquisição

de imagens com o tempo nublado. No quesito de simulação de produção e gerenciamento de recursos agrícolas, destacou-se o DASSAT, que permite a inclusão de dados experimentais. Como parâmetros de entrada para calibração dos modelos, os identificados foram o CERES, CROPSIM e o N-Wheat. Outros que tiveram destaque foram o AquaCrop e o MOPECO, em que o MOPECO oferece uma gama mais ampla de estratégias de irrigação ao passo que o AquaCrop oferece informações mais detalhadas sobre a resposta fisiológica da cultura durante o seu desenvolvimento. De maneira geral, todos os modelos e softwares se demonstraram adequados para a irrigação (Anjos, 2015; Oliveira, 2018).

E, os modelos desenvolvidos utilizando técnicas de programação como o RZWQM2, deep belief network, least squares support vector regression (DBN-LSSVM), Q-learning profundo, Random Forest e suas derivações, utilizando dados históricos e parcelas experimentais para calibração e validação, foram identificadas como métodos para estimar a evapotranspiração e prever valores de irrigações para culturas específicas. Os modelos recorrentes, comparados sempre com aqueles descritos pela literatura, foram o Penman-Monteith, Penman-Monteith modificado, Bowen e Shuttleworth-Wallace (SW).

Quanto à questão: Dos métodos e equipamentos existentes há algum que seja de baixo custo? Sim, é provável que haja, porém, neste estudo, não fora possível identificar elementos que permitissem inferir uma resposta assertiva a esta questão, que para tanto seria adequado um estudo sobre a dinâmica de concorrência de mercado para equipamentos e softwares para evapotranspiração.

Quanto às hipóteses fixadas para este estudo dado o fato de não responder de forma assertiva o segundo objetivo, restam prejudicadas as análises das hipóteses, as quais poderão ser respondidas em estudo futuro sobre a análise de mercado e dinâmica concorrencial.

Cabe observar que os trabalhos selecionados demonstram algumas tendências das linhas de pesquisa que envolvem o termo evapotranspiração as quais incluem modelagem utilizando imagens de satélites, modelagem por estações meteorológicas locais, modelagens usando sensores de solo e seiva em conjunto com estação meteorológica locais bem como modelagens usando dados de estações meteorológicas próximas ao local. Também foi possível localizar, a partir do uso das referidas ferramentas, estudos de simulação onde é feito o uso de dados experimentais a fim de calibrar modelos capazes de estimar a evapotranspiração.

Outro fato que este estudo revelou são as dependências da evapotranspiração com o tipo da cultura, idade do plantio e sua sazonalidade, deste modo abrindo

oportunidades de estudos para as mais diversas culturas existentes, principalmente as com maior comercialização e que afetam diretamente a organização alimentar da população mundial de acordo com seus costumes locais. Da mesma forma, este trabalho permite identificar simultaneamente a possibilidade de estudos com sensores de baixo custo e lógicas de programação diversas como uma possibilidade de linha de pesquisa, ambicionando a viabilização de modelos para populações carentes ou com o intuito de educação ambiental para grupos vulneráveis da sociedade.

## Outras Informações

**Registro e Protocolo:** A revisão sistemática segue as diretrizes Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA 2020), com Protocolo de Pesquisa e Plano de Gerenciamento de Dados no Database da Mendeley com o DOI: 10.17632/89wr243dbt.1.

**Contribuições autorais:** Conceituação A.R.L., R.N.I., J.P.M., L.P.M., C.P.C. e L.R.A.G.F.; metodologia P.S.B.d.S. e C.d.S.; software A.R.L., R.N.I., C.d.S., P.S.B.d.S., C.d.S., C.P.C. e L.R.A.G.F.; validação A.R.L., R.N.I., J.P.M. e L.R.A.G.F.; análise formal A.R.L., L.P.M., C.P.C. e C.d.S.; investigação A.R.L., L.P.M., C.P.C., P.S.B.d.S. e L.R.A.G.F.; recursos A.R.L., R.N.I. e L.R.A.G.F.; curadoria de dados A.R.L., C.d.S. e L.R.A.G.F.; redação—revisão e edição: todos os autores; supervisão e administração do projeto: A.R.L., C.d.S., C.P.C. e L.R.A.G.F., Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Apoio:** Este trabalho teve o apoio da bolsa de Iniciação Tecnológica e Industrial (Processo: 180101/2021-8 (MFS)) e bolsa de produtividade em pesquisa (Processo #315228/2020-2 (LRAGF)).

## Referências

- Ackerley, D., & Dommenges, D. (2016). Atmosphere-only GCM (ACCESS1.0) simulations with prescribed land surface temperatures. *Geoscientific Model Development*, 9(6), 2077–2098. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-2077-2016>
- Al-Ghobari, H. M., Mohammad, F. S., El Marazky, M. S. A., & Dewidar, A. Z. (2017). Automated irrigation systems for wheat and tomato crops in arid regions. *Water SA*, 43(2), 354–364. <https://doi.org/10.4314/wsa.v43i2.18>
- Allen, R. G. & FAO (Orgs.). (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Food & Agriculture Org. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Amorim, R. C. F. de. (2009). *Espacialização de variáveis meteorológicas combinando informações de imagens de satélite com técnicas de interpolação para o estado de Minas Gerais* [Agrometeorologia; Climatologia; Micrometeorologia, Universidade Federal de Viçosa]. <https://locus.ufv.br/handle/123456789/1489>
- Anjos, R. M. dos. (2015). *Irrigação deficitária controlada por etapas na cultura do melão, utilizando o modelo MOPECO*. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/18069>
- Attia, A., El-Hendawy, S., Al-Suhaibani, N., Alotaibi, M., Tahir, M. U., & Kamal, K. Y. (2021). Evaluating deficit irrigation scheduling strategies to improve yield and water productivity of maize in arid environment using simulation. *Agricultural Water Management*, 249, 106812. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106812>

- Awada, H., Ciraolo, G., Maltese, A., Provenzano, G., Moreno Hidalgo, M. A., & Còrcoles, J. I. (2019). Assessing the performance of a large-scale irrigation system by estimations of actual evapotranspiration obtained by Landsat satellite images resampled with cubic convolution. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 75, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.10.016>
- Bai, T., Zhang, N., Wang, T., Wang, D., Yu, C., Meng, W., Fei, H., Chen, R., Li, Y., & Zhou, B. (2021). Simulating on the effects of irrigation on jujube tree growth, evapotranspiration and water use based on crop growth model. *Agricultural Water Management*, 243, 106517. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106517>
- Barbieri, J. D., Dallacort, R., Daniel, D. F., Dalchiavon, F. C., & Freitas, P. S. L. de. (2020). Cobertura do solo, evapotranspiração e produtividade do milho safrinha. *Revista Cultura Agronômica*, 29(1), 76–91. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n1p76-91>
- Bhattacharyya, S. S., Adeyemi, M. A., Onyeneke, R. U., Bhattacharyya, S., Faborode, H. F. B., Melchor-Martínez, E. M., Iqbal, H. M. N., & Parra-Saldívar, R. (2021). Nutrient Budgeting—A Robust Indicator of Soil–Water–Air Contamination Monitoring and Prevention. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101944. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101944>
- Bowen, I. S. (1926). The Ratio of Heat Losses by Conduction and by Evaporation from any Water Surface. *Physical Review*, 27(6), 779–787. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.27.779>
- Chen, M., Cui, Y., Wang, X., Xie, H., Liu, F., Luo, T., Zheng, S., & Luo, Y. (2021). A reinforcement learning approach to irrigation decision-making for rice using weather forecasts. *Agricultural Water Management*, 250, 106838. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106838>
- Costa Filho, S. V. S. da, Arce, J. E., Montañó, R. A. N. R., & Pelissari, A. L. (2019). Configuração de algoritmos de aprendizado de máquina na modelagem florestal: Um estudo de caso na modelagem da relação hipsométrica. *Ciência Florestal*, 29(4), 1501–1515. <https://doi.org/10.5902/1980509828392>
- da Silva Júnior, J. C., Medeiros, V., Garrozi, C., Montenegro, A., & Gonçalves, G. E. (2019). Random forest techniques for spatial interpolation of evapotranspiration data from Brazilian's Northeast. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105017. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2019.105017>
- Dela Cruz, J. C., Caya, M. V. C., Ballado, A. H., Aggabao, M. C. R., Bacolor, E. I., Riego, H. A. G. G., & Vergara, M. E. M. (2020). Evapotranspiration-based Irrigation System for Mustard Green Crop Cultivation using Public Weather Forecast. *2020 11th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*, 203–208. <https://doi.org/10.1109/ICSGRC49013.2020.9232454>
- Diepen, C. A., Wolf, J., Keulen, H., & Rappoldt, C. (1989). WOFOST: A simulation model of crop production. *Soil Use and Management*, 5(1), 16–24. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1989.tb00755.x>
- Dingre, S. K., & Gorantiwar, S. D. (2020). Determination of the water requirement and crop coefficient values of sugarcane by field water balance method in semiarid region. *Agricultural Water Management*, 232, 106042. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106042>
- Elsevier Inc. (2021). *Mendeley Data [software]* (<https://data.mendeley.com/>; 2019.2.1) [Mendeley]. Mendeley Ltd.; 2022 Elsevier B.V.
- Fabrizi, S., Silva, C., Hernandez, E., Octaviano, F., Di Thommazo, A., & Belgamo, A. (2016). Improvements in the StArt tool to better support the systematic review process. *Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/2915970.2916013>

- FAO. (2022). World Food Studies Simulation Model (WOFOST) | Tierras y Aguas | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/es/c/1236431/>
- Frédette, C., Grebenschchykova, Z., Comeau, Y., & Brisson, J. (2019). Evapotranspiration of a willow cultivar (*Salix miyabeana* SX67) grown in a full-scale treatment wetland. *Ecological Engineering*, 127, 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.11.027>
- GT Agenda 2030. (2022). *VI Relatório Luz da Sociedade Civil da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável Brasil* (Relatório Luz sobre a Agenda 2030 no Brasil 2022 VI). <https://gtagenda2030.org.br/relatorio-luz/relatorio-luz-2022/>
- Guyatt, G. H., Oxman, A. D., Kunz, R., Vist, G. E., Falck-Ytter, Y., & Schünemann, H. J. (2008). What is “quality of evidence” and why is it important to clinicians? *BMJ: British Medical Journal*, 336(7651), 995–998. <https://doi.org/10.1136/bmj.39490.551019.BE>
- Guyatt, G. H., Oxman, A. D., Montori, V., Vist, G., Kunz, R., Brozek, J., Alonso-Coello, P., Djulbegovic, B., Atkins, D., Falck-Ytter, Y., Williams, J. W., Meerpohl, J., Norris, S. L., Akl, E. A., & Schünemann, H. J. (2011). GRADE guidelines: 5. Rating the quality of evidence—publication bias. *Journal of Clinical Epidemiology*, 64(12), 1277–1282. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2011.01.011>
- Haghverdi, A., Singh, A., Sapkota, A., Reiter, M., & Ghodsi, S. (2021). Developing irrigation water conservation strategies for hybrid bermudagrass using an evapotranspiration-based smart irrigation controller in inland southern California. *Agricultural Water Management*, 245, 106586. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106586>
- Ihaka, R., & Gentleman, R. (2018). *The R Project for Statistical Computing [software]* (<https://www.r-project.org/>; 3.5.1) [R; R: Software Development Life Cycle]. The R Foundation; the Statistics Department of the University of Auckland.
- INPE. (2022). *LANDSAT* [Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)]. Divisão de Geração de Imagens Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>
- Jo, W. J., & Shin, J. H. (2021a). Development of a transpiration model for precise tomato (*Solanum lycopersicum* L.) irrigation control under various environmental conditions in greenhouse. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 388–394. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.005>
- Jo, W. J., & Shin, J. H. (2021b). Development of a transpiration model for precise tomato (*Solanum lycopersicum* L.) irrigation control under various environmental conditions in greenhouse. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 388–394. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.005>
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment wetlands* (2nd ed). CRC Press.
- Kamarudin, M. H., Ismail, Z. H., & Saidi, N. B. (2021). Deep Learning Sensor Fusion in Plant Water Stress Assessment: A Comprehensive Review. *Applied Sciences*, 11(4), 1403. <https://doi.org/10.3390/app11041403>
- Kang, J., Hao, X., Zhou, H., & Ding, R. (2021). An integrated strategy for improving water use efficiency by understanding physiological mechanisms of crops responding to water deficit: Present and prospect. *Agricultural Water Management*, 255, 107008. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107008>
- Kheir, A. M. S., Alrajhi, A. A., Ghoneim, A. M., Ali, E. F., Magrashi, A., Zoghdan, M. G., Abdelkhalik, S. A. M., Fahmy, A. E., & Elnashar, A. (2021). Modeling deficit irrigation-based evapotranspiration optimizes wheat yield and water productivity

- in arid regions. *Agricultural Water Management*, 256, 107122. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107122>
- Kisekka, I., Schlegel, A., Ma, L., Gowda, P. H., & Prasad, P. V. V. (2017). Optimizing preplant irrigation for maize under limited water in the High Plains. *Agricultural Water Management*, 187, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.023>
- Kitchenham, B., Madeyski, L., & Brereton, P. (2020). Meta-analysis for families of experiments in software engineering: A systematic review and reproducibility and validity assessment. *Empirical Software Engineering*, 25(1), 353–401. <https://doi.org/10.1007/s10664-019-09747-0>
- Klant, L. M., & Santos, V. S. dos. (2021). O uso do software IRAMUTEQ na análise de conteúdo—Estudo comparativo entre os trabalhos de conclusão de curso do ProfEPT e os referenciais do programa. *Research, Society and Development*, 10(4), e8210413786. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13786>
- Komatsu, H. (2020). Modeling evapotranspiration changes with managing Japanese cedar and cypress plantations. *Forest Ecology and Management*, 475, 118395. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118395>
- Kunihiro, S., Vernasque, J. R. da S., Silva, C. da, Santos, M. F. dos, Cremasco, C. P., & Gabriel Filho, L. R. A. (2022). Intersectoral Actions for the Promotion and Prevention of Obesity, Diabetes and Hypertension in Brazilian Cities: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13059. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013059>
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. de A. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. Atlas.
- LaPES. (2020). *StArt (State of the Art through Systematic Review) [software]* (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software; 3.0.3 Beta) [Portuguese; Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software]. Universidade Federal de São Carlos (DC/UFSCar).
- Lei, H., Gong, T., Zhang, Y., & Yang, D. (2018). Biological factors dominate the interannual variability of evapotranspiration in an irrigated cropland in the North China Plain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 250–251, 262–276. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.007>
- Leite, A. R., Imada, R. N., Mantovani, J. P., Mantovani, L. P., Neves, F. P., Siqueira, J. D. M., Santos, P. S. B. D., Silva, C. da, Cremasco, C. P., & Gabriel Filho, L. R. A. (2022). *Automated Evapotranspiration Research Dataset used in a Systematic Review and Meta-analysis. 1*. <https://doi.org/10.17632/89wr243dbt.1>
- Liao, R., Zhang, S., Zhang, X., Wang, M., Wu, H., & Zhangzhong, L. (2021). Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept. *Agricultural Water Management*, 245, 106632. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106632>
- Liu, J., Cheng, F., Munger, W., Jiang, P., Whitby, T. G., Chen, S., Ji, W., & Man, X. (2020). Precipitation extremes influence patterns and partitioning of evapotranspiration and transpiration in a deciduous boreal larch forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 107936. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107936>
- Liu, Z., & Xu, Q. (2018). An Automatic Irrigation Control System for Soilless Culture of Lettuce. *Water*, 10(11), 1692. <https://doi.org/10.3390/W10111692>
- Mancini, M. C., Cardoso, J. R., Sampaio, R. F., Costa, L. C. M., Cabral, C. M. N., & Costa, L. O. P. (2014). Tutorial for writing systematic reviews for the Brazilian Journal of Physical Therapy (BJPT). *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 18(6), 471–480. <https://doi.org/10.1590/bjpt-rbf.2014.0077>
- Martínez-Romero, A., López-Urrea, R., Montoya, F., Pardo, J. J., & Domínguez, A. (2021). Optimization of irrigation scheduling for barley crop, combining AquaCrop and MOPECO models to simulate various water-deficit regimes. *Agricultural Water Management*, 258, 107219. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107219>

- McGowan, J., Sampson, M., Salzwedel, D. M., Cogo, E., Foerster, V., & Lefebvre, C. (2016). PRESS Peer Review of Electronic Search Strategies: 2015 Guideline Statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 75, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2016.01.021>
- Meng, W., Sun, X., Ma, J., Guo, X., Lei, T., & Li, R. (2019). Measurement and simulation of the water storage pit irrigation trees evapotranspiration in the Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, 226, 105804. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105804>
- Mérida García, A., Fernández García, I., Camacho Poyato, E., Montesinos Barrios, P., & Rodríguez Díaz, J. A. (2018). Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a smart irrigation management system. *Journal of Cleaner Production*, 175, 670–682. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.093>
- Microsoft Corporation. (2016). *Microsoft® Excel 2016 [software]* (Versão 2016) [English; Microsoft Office Professional Plus 2016]. Microsoft Corporation.
- Millán, S., Casadesús, J., Campillo, C., Moñino, M. J., & Prieto, M. H. (2019). Using Soil Moisture Sensors for Automated Irrigation Scheduling in a Plum Crop. *Water* 11(10), 2061. <https://doi.org/10.3390/W11102061>
- Moghadam, H. R. T. (2016). Application of super absorbent polymer and ascorbic acid to mitigate deleterious effects of cadmium in wheat. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46, 09–18. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4638946>
- Montoro, A., Mañas, F., & López-Urrea, R. (2016). Transpiration and evaporation of grapevine, two components related to irrigation strategy. *Agricultural Water Management*, 177, 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.005>
- Montoya, M. A., & Finamore, E. B. (2020). Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: Uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. *Revista Brasileira de Economia*, 74(4). <https://doi.org/10.5935/0034-7140.20200021>
- Nagel, G. W., Novo, E. M. L. de M., & Kampel, M. (2020). Nanosatellites applied to optical Earth observation: A review. *Rev. Ambient. Água*, 15(3). SciELO Brasil. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2513>
- Narciso, K. R. (2016). “Rios Voadores” da Amazônia e o Direito Internacional. *UFPR*, 56. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/52292>
- NASA. (2022). *Landsat Missions | U.S. Geological Survey* [Gov]. National Aeronautics and Space Administration (NASA). <https://www.usgs.gov/landsat-missions>
- Nimah, M. N., & Hanks, R. J. (1973). Model for Estimating Soil Water, Plant, and Atmospheric Interrelations: I. Description and Sensitivity. *Soil Science Society of America Journal*, 37(4), 522–527. <https://doi.org/10.2136/sssaj1973.03615995003700040018x>
- Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science*, 313(5790), 1068–1072. <https://doi.org/10.1126/science.1128845>
- Oliveira, C. T. (2018). Modelo Aquacrop: Calibração, validação e uso para soja e milho na região dos campos gerais. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/56229>
- Olivera-Guerra, L., Merlin, O., & Er-Raki, S. (2020). Irrigation retrieval from Landsat optical/thermal data integrated into a crop water balance model: A case study over winter wheat fields in a semi-arid region. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111627. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111627>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *PLOS Medicine*, 18(3), e1003583. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>

- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120–145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>
- Pereira, V. D. C., Sedyama, G. C., De Moura, M. S. B., Da Silva, T. G. F., & De Souza, L. S. B. (2018). Eficiência do uso da água em videira 'Syrah' irrigada no submédio do vale São Francisco. *IRRIGA*, 21(2), 269. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n2p269-283>
- Pereira, V. da C., Sedyama, G. C., de Moura, M. S. B., da Silva, T. G. F., & de Souza, L. S. B. (2016). Water use efficiency in irrigated "Syrah" grape plantation at são francisco river valley. *IRRIGA*, 21(2), 269–283. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n2p269-283>
- Perera, K. C., Western, A. W., Robertson, D. E., George, B., & Nawarathna, B. (2016). Ensemble forecasting of short-term system scale irrigation demands using real-time flow data and numerical weather predictions. *Water Resources Research*, 52(6), 4801–4822. <https://doi.org/10.1002/2015WR018532>
- Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81–92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2)
- PRISMA-P Group, Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., & Stewart, L. A. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Qin, S., Li, S., Kang, S., Du, T., Tong, L., & Ding, R. (2016). Can the drip irrigation under film mulch reduce crop evapotranspiration and save water under the sufficient irrigation condition? *Agricultural Water Management*, 177, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.022>
- Ratinaud, P. (2014). *IRaMuTeQ (Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires) [software]* (0.7 alpha 2) [French]. LERASS - Laboratoire d'Études et de Recherches Appliquées en Sciences Sociales.
- Ribeiro, H., Jaime, P. C., & Ventura, D. (2017). Alimentação e sustentabilidade. *Estudos Avançados*, 31(89), 185–198. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890016>
- Sampaio, R. F., & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: Um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 11, 83–89. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000100013>
- Santos, C. M. da C., Pimenta, C. A. de M., & Nobre, M. R. C. (2007). The PICO strategy for the research question construction and evidence search. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 15(3), 508–511. <https://doi.org/10.1590/S0104-11692007000300023>
- Segovia-Cardozo, D. A., Rodríguez-Sinobas, L., & Zobelzu, S. (2019). Water use efficiency of corn among the irrigation districts across the Duero river basin (Spain): Estimation of local crop coefficients by satellite images. *Agricultural Water Management*, 212, 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.042>
- Shuaishuai, L., Li, L., shiwang, C., Fanjia, M., Haihua, W., Zhazhan, S., & Sigrimis, N. A. (2018). Prediction Model of Transpiration Rate of Strawberry in Closed Cultivation Based on DBN-LSSVM Algorithm. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 460–465. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.171>
- Shuttleworth, W. J., & Wallace, J. S. (1985). Evaporation from sparse crops-an energy combination theory: evaporation from sparse crops. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111(469), 839–855. <https://doi.org/10.1002/qj.49711146910>
- Sivalakshmi, P., Shanthi, K. G., Sangeethalakshmi, K., Seshavidhya, S., Sandhiya, G., & Rajkumar, M. (2021). Smart auction system flow model for Agro-Based sector



- farmers using blockchain technology. *Materials Today: Proceedings*, S2214785321042619. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.634>
- Souza, G. S. de, Lima, J. S. de S., Xavier, A. C., & Rocha, W. S. D. da. (2010). Krigagem Ordinária e Inverso do Quadrado da Distância Aplicados na Espacialização de Atributos Químicos de um Argissolo. *Scientia Agraria*, 11(1), 073. <https://doi.org/10.5380/rsa.v11i1.15939>
- Souza, M. A. R. de, Wall, M. L., Thuler, A. C. de M. C., Lowen, I. M. V., & Peres, A. M. (2018). O uso do software IRAMUTEQ na análise de dados em pesquisas qualitativas. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 52(0). <https://doi.org/10.1590/s1980-220x2017015003353>
- Stanghellini, C. (1987). *Transpiration of greenhouse crops: An aid to climate management* [Phd, IMAG]. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/2690>
- Sun, M., Gao, X., Zhang, Y., Song, X., & Zhao, X. (2022). A new solution of high-efficiency rainwater irrigation mode for water management in apple plantation: Design and application. *Agricultural Water Management*, 259, 107243. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107243>
- The MathWorks. (2022). *Matlab R2022a [software]* (R2022a 2 (9.12.0.1956245)) [Start MATLAB - The Language of Technical Computing; MATLAB and Simulink]. The MathWorks, Inc.
- Thomas, S., Rane, A., Abitha V. K, Kanny, K., & Dutta, A. (Orgs.). (2019). *Hydraulic rubber dam: An effective water management technology*. William Andrew is an imprint of Elsevier.
- Tie, Q., Hu, H., Tian, F., & Holbrook, N. M. (2018). Comparing different methods for determining forest evapotranspiration and its components at multiple temporal scales. *Science of The Total Environment*, 633, 12–29. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.082>
- Vanino, S., Nino, P., De Michele, C., Falanga Bolognesi, S., D’Urso, G., Di Bene, C., Pennelli, B., Vuolo, F., Farina, R., Pulighe, G., & Napoli, R. (2018). Capability of Sentinel-2 data for estimating maximum evapotranspiration and irrigation requirements for tomato crop in Central Italy. *Remote Sensing of Environment*, 215, 452–470. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.035>
- Wang, D., & Wang, L. (2017). Dynamics of evapotranspiration partitioning for apple trees of different ages in a semiarid region of northwest China. *Agricultural Water Management*, 191, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.010>
- Zhang, Q., Fan, L., Wang, H., Han, H., Zhu, Z., Zhao, X., & Wang, Y. (2022). A review of physical and chemical methods to improve the performance of water for dust reduction. *Process Safety and Environmental Protection*, 166, 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.07.065>

**ABSTRACT:**

Given the scarcity of water resources that has been worsening over time and the high consumption of these resources by agribusiness, there is a need for studies that can manage such action in a sustainable way, providing food security for the present and future world population. **Background:** with the topic: What is the systemic view of automated models and techniques for determining or estimating transpiration, evaporation or evapotranspiration for plantations? **Objectives:** to identify in recent literature what researchers and scientists have disclosed about automation methods for supervision, with a focus on estimating evapotranspiration. identify methods, models and techniques for inferring evapotranspiration. **Methods:** A methodology based on exploratory theoretical testing with qualitative and quantitative characteristics through Systematic Review and Meta-Analysis of data. **Results:** Using specific software and methods, simulation studies with experimental data make it possible to calibrate efficient models to estimate evapotranspiration, but low-cost methods still have little adherence.

**KEYWORDS:** Efficiency in water use; Irrigation; Automation; Evapotranspiration; Systematic review.

**RESUMEN:**

Dada la escasez de recursos hídricos que se ha ido agravando con el tiempo y el alto consumo de estos recursos por parte de la agroindustria, se necesitan estudios que puedan gestionar dicha acción de manera sostenible, brindando seguridad alimentaria a la población mundial presente y futura. **Antecedentes:** con el tema: ¿Cuál es la visión sistémica de los modelos y técnicas automatizadas para determinar o estimar la transpiración, evaporación o evapotranspiración para plantaciones? **Objetivos:** Identificar en la literatura reciente lo que investigadores y científicos han publicado sobre métodos de automatización para riego, con enfoque en la estimación de la evapotranspiración. Identificar métodos, modelos y técnicas para inferir la evapotranspiración. **Métodos:** La metodología se basó en un ensayo teórico exploratorio con características cualitativas y cuantitativas mediante Revisión Sistemática y Metaanálisis de datos. **Resultados:** Utilizando software y métodos específicos, los estudios de simulación con datos experimentales permiten calibrar modelos eficientes para estimar la evapotranspiración, pero los métodos de bajo costo aún tienen poca adherencia.

**PALABRAS CLAVE:** Eficiencia en el uso del agua; Irrigación; Automatización; Evapotranspiración; Revisión sistemática.