

MATHEUS GASPAR SCHWAN

**CONSUMO DE ÁGUA EM VIDEIRA PARA VINHO DE INVERNO IRRIGADA POR
GOTEJAMENTO**

**Botucatu
2025**

MATHEUS GASPAR SCHWAN

**CONSUMO DE ÁGUA EM VIDEIRA PARA VINHO DE INVERNO IRRIGADA POR
GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Luis Henrique Basso

**Botucatu
2025**

G249c	Gaspar Schwan, Matheus Consumo de água em videira para vinho de inverno irrigada por gotejamento / Matheus Gaspar Schwan. -- Botucatu, 2025 124 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu Orientador: Luis Henrique Basso 1. Evapotranspiração. 2. Uva. 3. Balanço Hídrico. 4. Viticultura. 5. Syrah. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Dados fornecidos pelo autor(a).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CONSUMO DE ÁGUA EM VIDEIRA PARA VINHO DE INVERNO IRRIGADA POR GOTEJAMENTO

AUTOR: MATHEUS GASPAR SCHWAN

ORIENTADOR: LUÍS HENRIQUE BASSOI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
LUIS HENRIQUE BASSOI
Data: 21/02/2025 09:48:47-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Pesquisador Dr. LUÍS HENRIQUE BASSOI (Participação Virtual)
Embrapa Instrumentação / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

 Documento assinado digitalmente
FERNANDO CAMPOS MENDONÇA
Data: 20/02/2025 17:33:56-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. FERNANDO CAMPOS MENDONÇA (Participação Virtual)
Engenharia de Biosistemas / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

 Documento assinado digitalmente
ENZO DAL PAI
Data: 20/02/2025 18:27:55-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. ENZO DAL PAI (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Botucatu, 20 de fevereiro de 2025

AGRADECIMENTOS

A Deus pai celestial por ter me concedido força para chegar até aqui.

À minha família por todo apoio e ajuda.

Às amizades que fiz ao longo desse caminho (tanto em Botucatu quanto em São Carlos), e que se mantiveram mesmo em mil km de distância.

Ao meu orientador Prof. Dr Luís Henrique Basso, pela confiança, paciência e troca de conhecimentos fundamentais para a execução dessa pesquisa.

À Embrapa Instrumentação pela infraestrutura e a UNESP pela formação durante o curso.

À Vinícola Terras Altas, em Ribeirão Preto – SP, por ceder a área que foi fundamental para realização dessa pesquisa.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

O Brasil possui três macrorregiões vitícolas: a tradicional, em climas temperados e subtropicais; a tropical, em clima semiárido; e a de inverno, relativamente nova, presente na região Sudeste, que inclui o sistema de dupla poda para transferir a colheita para o inverno. Com essa transferência para um período seco, ocorre um déficit hídrico nos últimos estádios do ciclo fenológico da cultura. Apesar da tolerância da videira ao déficit hídrico, ela tem alta demanda hídrica para completar seu ciclo, especialmente nos estágios finais. Por isso, as áreas destinadas à viticultura de inverno são todas irrigadas, todavia, na literatura ainda não há informações acerca das necessidades hídricas da videira sob esse manejo. O presente trabalho é dividido em dois capítulos e teve por objetivos: determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c) e coeficiente de cultivo (K_c) da videira “Syrah” para vinho sob dupla poda em uma vinícola localizada em Bonfim Paulista em Ribeirão Preto/SP (Primeiro capítulo); e avaliar o desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) no município de Pradópolis/SP (Segundo capítulo). A partir dos resultados obtidos no primeiro capítulo foram obtidos dados de ET_c acumulada de 416,10 e 350,71 mm para os ciclos de 2021 e 2024, respectivamente, e em ambos os ciclos o estágio fenológico de BTE-CF (Baga Tamanho de Ervilha – Cacho Fechado) apresentou a maior demanda hídrica. Foram obtidos os valores de K_c de 0,8; 1,0 e 0,7 no ciclo produtivo de 2021 e 0,4; 1,2 e 0,5 durante o ciclo produtivo de 2024, respectivamente para os estádios fenológicos de B-IF (Brotação – Início do Florescimento); BTE-CF (Baga Tamanho de Ervilha – Cacho Fechado); e IM-MP (Início da Maturação – Maturação Plena). A exigência térmica total para a videira Syrah sob dupla poda foi de 1110,68°C no ciclo de 2021, com uma duração de 146 dias, e de 1369,83°C no ciclo de 2024, com uma duração de 123 dias. No experimento relatado no segundo capítulo foi observado que os meses de inverno impactaram o desempenho de todos os métodos, necessitando calibração para o período de maio a julho. O método de Priestley-Taylor apresentou o melhor desempenho nas escalas diária, mensal e anual, e o método de Jensen-Haise apresentou o pior desempenho em todas as escalas.

Palavras-chave: evapotranspiração; videira; Syrah; demanda hídrica.

ABSTRACT

Brazil has three wine-growing macroregions: the traditional one, in temperate and subtropical climates; the tropical one, in a semi-arid climate; and the relatively new winter region, present in the Southeast region, which includes the double pruning system to transfer the harvest to the winter. With this transfer to a dry period, a water deficit occurs in the last stages of the crop's phenological cycle. Despite the grapevine's tolerance to water deficit, it has a high-water demand to complete its cycle, especially in the final stages. Therefore, the areas intended for winter viticulture are all irrigated; however, there is still no information in the literature about the water needs of the grapevine under this management. This work was divided into two chapters, and had the following objectives: to determine the crop evapotranspiration (ET_c) and cultivation coefficient (K_c) of the "Syrah" grapevine for wine under double pruning in a winery located in Bonfim Paulista in Ribeirão Preto/SP (First chapter); and to evaluate the performance of different methods for estimating reference evapotranspiration (ET_o) in the municipality of Pradópolis/SP (Second chapter). From the results obtained in the first chapter, accumulated ET_c data of 416.10 and 350.71 mm were obtained for the 2021 and 2024 cycles, respectively, and in both cycles, the BTE-CF (Pea Berry Size - Closed Bunch) phenological stage presented the highest water demand. K_c values of 0.8; 1.0 and 0.7 were obtained in the 2021 production cycle and 0.4; 1.2 and 0.5 during the 2024 production cycle, respectively for the phenological stages of B-IF (Budding - Beginning of Flowering); BTE-CF (Pea Berry Size - Closed Bunch); and IM-MP (Beginning of Maturation - Full Maturation). The total thermal requirement for the Syrah vine under double pruning was 1110,68°C in the 2021 cycle, with a duration of 146 days, and 1369,83°C in the 2024 cycle, with a duration of 123 days. In the experiment reported in the second chapter, it was observed that the winter months impacted the performance of all methods, requiring calibration for the period from May to July. The Priestley-Taylor method presented the best performance on the daily, monthly, and annual scales, and the Jensen-Haise method presented the worst performance on all scales.

Keywords: evapotranspiration; vine; Syrah; water demand.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
CAPÍTULO 1 - BALANÇO HÍDRICO, EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA E EXIGÊNCIAS TÉRMICAS DA VIDEIRA PARA VINHO DE INVERNO CULTIVADA SOB DUPLA PODA	15
1.1 INTRODUÇÃO.....	15
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
1.2.1 Viticultura Nacional.....	16
1.2.2 Irrigação no Cultivo da Videira	17
1.2.3 Necessidades Hídricas e Térmicas da Videira.....	19
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
1.3.1 Caracterização da área experimental	20
1.3.2 Monitoramento da umidade do solo	21
1.3.3 Balanço hídrico no solo e determinação da evapotranspiração da cultura	23
1.3.4 Manejo de irrigação.....	24
1.3.5 Determinação do coeficiente de cultivo.....	25
1.3.6 Condições climáticas soma térmicas (graus-dias)	26
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
1.4.1 Condições climáticas	27
1.4.2 Componentes do balanço hídrico	28
1.4.3 Evapotranspiração da cultura	32
1.4.4 Coeficiente de cultivo	34
1.4.5 Soma térmica	36
1.5 CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS	39
CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA PRADOPOLIS, SP	45
2.1 INTRODUÇÃO	45
2.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	46
2.2.1 Evapotranspiração de referência	46

2.2.2	Desempenho de métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência	47
2.3	MATERIAL E MÉTODOS	49
2.3.1	Caracterização da área	49
2.3.2	Equações de estimativa da evapotranspiração de referência	50
2.3.3	Análises estatísticas	51
2.3.3.1	Variáveis climáticas	51
2.3.3.2	Métodos de estimativa da ETo	51
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
2.4.1	Análise de componentes principais dos dados climáticos	53
2.4.2	Dados climáticos e Evapotranspiração de Referência.....	54
2.4.2.1	Dados climáticos	54
2.4.2.2	Evapotranspiração de referência	56
2.4.3	Desempenho dos métodos de estimativa da Evapotranspiração de Referência em escala mensal e anual	59
2.5	CONCLUSÕES	113
	REFERÊNCIAS	115
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
	REFERÊNCIAS	123

INTRODUÇÃO GERAL

A irrigação é uma prática agrícola que visa atender às necessidades hídricas das culturas no momento adequado com o intuito de garantir a produção agrícola. Quando manejada de forma adequada a irrigação garante uma produção rentável e promove o crescimento satisfatório da cultura. No entanto, o uso inadequado da irrigação pode levar a prejuízos na produção, seja pelo excesso ou falta de água, o que compromete o benefício esperado para a cultura (Cunha, 2019).

O manejo da irrigação deve ser tratado como uma etapa integrada ao processo de produção agrícola, visando sempre ao uso eficiente da água, promovendo a conservação do meio ambiente e o compromisso com a produtividade da cultura explorada (Camargo, 2016). Com isso, o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a agricultura irrigada torna-se cada vez mais viável e indispensável, pois promove o uso racional da água na irrigação (Silva; Reis, 2017).

Dependendo da região de cultivo no Brasil, a irrigação em videiras constitui-se em prática essencial ou de caráter suplementar às chuvas para garantia da qualidade e produtividade (Pires *et al.*, 2003).

A utilização da irrigação em videiras tem sido predominante nas regiões tropicais, como o Semiárido, o norte de Minas Gerais e a região noroeste de São Paulo, onde todas as áreas destinadas à viticultura são irrigadas (Pires *et al.*, 2021).

Embora a videira seja considerada uma espécie com tolerância à seca, apresenta uma elevada demanda hídrica para completar seu ciclo de desenvolvimento (Williams *et al.*, 2005). Por isso é necessária a adoção de práticas que visem à maior eficiência no uso da água, para a garantia da sustentabilidade na viticultura (Costa *et al.*, 2016; Neupane; Guo, 2019; Ungureanu *et al.*, 2020).

Uma irrigação bem manejada melhora o rendimento, a qualidade das uvas e a eficiência no uso da água. Portanto, é necessário o desenvolvimento de práticas que visem ao uso preciso dos recursos hídricos para a garantia de uma produção agrícola sustentável (Medrano *et al.*, 2015; Shetty *et al.*, 2018).

O manejo da irrigação na videira é uma prática de suma importância para garantia de maior sustentabilidade e eficiência no uso da água pela cultura. Para a sua realização de modo adequado, é necessário o conhecimento de vários fatores, como a necessidade hídrica da cultura, condições de solo e climáticas, que podem interferir no processo de evapotranspiração da planta e na sua demanda hídrica.

Uma das maneiras de se estabelecer a demanda hídrica das culturas é pelo método proposto por Doorenbos e Pruitt (1977), que é baseada no cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c) por meio da multiplicação da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente de cultura (K_c).

Um problema na realização do manejo da irrigação por meio da ET_c , é a dificuldade na obtenção de valores de K_c que sejam condizentes com as condições da localidade do cultivo, pois o K_c está diretamente ligado às fases fenológicas e fisiológicas das culturas e suas respectivas demandas hídricas (Alves *et al.*, 2017) que podem variar em função da região e da forma de cultivo.

No cultivo da videira, o K_c é um parâmetro variável em função da estrutura do dossel, do sistema de condução, das práticas de poda e crescimento vegetativo (Gautam *et al.*, 2021).

Diante do exposto, o presente trabalho foi dividido em dois capítulos e teve por objetivos: no capítulo I determinar a evapotranspiração da cultura e o coeficiente de cultivo para a cultura a partir do balanço hídrico no solo; e no capítulo II avaliar o desempenho de diferentes métodos para estimativa da evapotranspiração referência para o município de Pradópolis, SP.

CAPÍTULO 1

BALANÇO HÍDRICO, EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA E EXIGÊNCIAS TÉRMICAS DA VIDEIRA PARA VINHO DE INVERNO CULTIVADA SOB DUPLA PODA

1.1 INTRODUÇÃO

A atividade vitivinícola para vinhos de inverno iniciou-se em Minas Gerais e em seguida espalhou-se por todo o Brasil Central, nos estados de: São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Tocantins, Rio de Janeiro, Espírito Santo, assim como no Distrito Federal (Tonietto *et al.*, 2020). De acordo com a Associação Nacional de Produtores de Vinho de Inverno a produção média é de 651 mil garrafas por ano produzidas pelos 38 produtores associados, em uma área de 318 hectares (ANPROVIN, 2024)

A evolução recente da produção de vinhos finos na Região Sudeste do Brasil deve-se principalmente ao manejo da dupla poda, que tem como principal objetivo a transferência da colheita da uva tradicionalmente realizada no verão chuvoso para o inverno seco. A técnica consiste em realizar duas podas na videira, a primeira em agosto para formação de ramos, retirando-se os frutos e, entre janeiro e fevereiro, realiza-se a poda de produção, alterando o período de maturação e colheita para os meses de junho a agosto, época em que ocorrem noites frescas e solo mais seco devido à escassez de chuvas na região de cultivo (Favero *et al.* 2008; Favero *et al.*, 2011).

Entretanto, com a transferência de safra para um período mais seco do ano, eventualmente ocorre um déficit hídrico nos últimos estádios do ciclo fenológico da cultura. Mesmo que a videira seja considerada uma espécie tolerante ao déficit hídrico, a ocorrência do déficit hídrico pode resultar em taxas mais elevadas de transpiração (Buesa *et al.*, 2022). Com isso torna-se fundamental o conhecimento adequado das necessidades hídricas da videira em relação aos seus estágios fenológicos para um uso mais sustentável dos recursos naturais do vinhedo (solo e água) (Darouich *et al.*, 2022)

Umas das formas de se determinar a necessidade hídrica de uma cultura é a estimativa da evapotranspiração de cultura (ET_c), por meio da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c). O K_c representa a razão entre a evapotranspiração em condições ideais de disponibilidade de água no solo e a evapotranspiração de referência (ET_o), nas diferentes fases fenológicas no local de cultivo (Teixeira *et al.*, 2015).

Dentre as possibilidades, o método do balanço hídrico do solo é satisfatório na determinação da ET_c, pois essa técnica contabiliza as entradas e saídas de água no volume de controle e indica o volume de água que permanece no solo para atender às necessidades metabólicas das plantas (Reichardt, 1985)

O presente estudo teve por objetivo realizar o balanço hídrico, calcular a evapotranspiração da cultura e avaliar as exigências térmicas de um vinhedo de vinho inverno localizado no estado de São Paulo.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Viticultura Nacional

A videira pertence à família Vitaceae, que possui onze gêneros com aproximadamente 450 espécies, sendo o gênero *Vitis*, de maior importância com mais de 50 espécies conhecidas. Dentre essas espécies, destaca-se *Vitis vinífera*, com o maior valor econômico agregado (Simão, 1998)

As plantas pertencentes a esse grupo apresentam o hábito de crescimento trepador, arbusto com caule sarmentoso, necessitando de apoios artificiais ou naturais para que o seu desenvolvimento ocorra de forma adequada (Queiroz-Voltan *et al.*, 2011).

A videira foi uma das primeiras plantas a serem domesticadas pelo homem, sendo isso atribuído diretamente à descoberta do vinho. O cultivo da uva é considerado um dos mais importantes economicamente para a fruticultura mundial (Keller, 2010).

No Brasil a viticultura apresenta características regionais distintas, com particularidades no ciclo de produção, época de colheita, cultivares, tratamentos culturais, tipo de produto e foco de mercado. Pode ser segmentada em dois grandes grupos:

uva para consumo *in natura* e a uva para o processamento (elaboração de suco de uva e vinhos) (Mello; Machado, 2020).

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), na safra de 2022 a produção nacional de uvas foi de 1.748.197 toneladas, em uma área de 75.622 ha. Nesse cenário, as regiões Sul e Nordeste, destacam-se apresentando a maior produção e maior área plantada. A região Sudeste, fica em terceiro lugar, com destaque para o estado de São Paulo, apresentando uma produção média de 164.470 toneladas em uma área de 8.436 ha. No que tange a produção mundial de vinhos, o Brasil se encontra em 14º com aproximadamente 3,2 milhões de litros produzidos em 2023 (OIV, 2023).

O Brasil se destaca por ser um dos países com maior diversidade e tipos de viticultura, associadas às diferentes condições de clima, solos e manejos da videira, resultando em ciclos de produção específicos para cada região de cultivo. Atualmente, a produção de vinhos no Brasil, pode ser dividida em três regiões sendo elas associadas às condições climáticas e ao manejo da região na região de cultivo: a viticultura tradicional, com um ciclo de produção por ano, com uma poda e uma colheita por ano, onde são produzidos os “vinhos da viticultura tradicional”, em regiões de climas temperados e subtropicais; a viticultura tropical com dois ciclos, duas podas e duas colheitas por ano, em qualquer período, por meio do escalonamento das parcelas, são produzidos os chamados “vinhos tropicais”, em regiões de clima tropical semiárido; e a viticultura de inverno, com dois ciclos (um de formação e outro de produção), sendo duas podas e uma colheita por ano (técnica da dupla poda), onde estão sendo produzidos os chamados “vinhos de inverno”, em regiões de climas subtropical e tropical de altitude. Essa viticultura é considerada relativamente nova, e é realizada na região Sudeste, geralmente em áreas acima de 1.000 m de altitude (Pereira, 2020).

1.2.2 Irrigação no Cultivo da Videira

O cultivo da videira ocorre em diferentes regiões, que apresentam diferentes características climáticas e ambientais, com isso, ocorre o cultivo em áreas de baixa precipitação pluviométrica e alta demanda evapotranspirométrica, se faz necessário a reposição de água via irrigação (Assis e Filho, 2000).

A irrigação no cultivo da videira torna-se necessária em períodos de baixa pluviosidade, principalmente se a planta estiver no período de formação de bagas e início da maturação (Lattuada *et al.*, 2020). A irrigação traz segurança ao produtor por garantir o fornecimento de água em um eventual cenário de déficit hídrico e facilita alguns tratos culturais, tais como a adubação pela fertirrigação ou a aplicação de defensivos agrícolas e demais produtos químicos via quimigação. Outro destaque dessa prática na viticultura, é o controle da produção e a qualidade das uvas e consequentemente, a qualidade final do vinho e demais produtos resultantes do processamento (Federes; Evans, 2006).

Nas regiões produtoras de uva, há uma tendência à utilização de sistemas de irrigação localizada, que apresentam maior eficiência de aplicação de água em relação aos sistemas de aspersão e sulco, maior facilidade na fertirrigação e evitam o molhamento foliar que favorece a ocorrência de doenças, como o míldio (*Plasmopara viticola*) e as podridões de cachos (*Glomerella cingulata*, *Botrytinia fuckeliana*) (Conceição, 2021; Pires *et al.*, 2021).

A irrigação localizada é caracterizada por dois métodos, sendo eles microaspersão e gotejamento. Na irrigação por microaspersão, o microaspersor é fixado no arame do parreiral, operando de modo invertido e apresentando alta vazão. Normalmente microaspersores são, normalmente, posicionados a cada duas plantas de modo a evitar interferência no caule. Já os sistemas por gotejamento caracterizam-se por apresentar uma baixa vazão e alta frequência de rega, pois o volume de solo umedecido é menor (Conceição *et al.*, 2015).

O método de irrigação por gotejamento possibilita um maior controle do fornecimento de água em parte do sistema radicular da planta, o que tem sido utilizado com bastante frequência, principalmente em regiões semiáridas (Pires *et al.*, 2021).

1.2.3 Necessidades Hídricas e Térmicas Da Videira

A videira demanda em torno de 300 a 600 mm de água em climas frios (Williams, 2014) e entre 400 e 800 mm em climas quentes (Williams e Baeza, 2007) durante o seu ciclo, que dependerá da cultivar, do porta-enxerto, do sistema de condução, da densidade de plantio, do rendimento e dos padrões sazonais de temperatura.

Estudos que visam à determinação do consumo hídrico da videira nas diferentes condições climáticas em que a cultura pode ser implementada, mostram que ocorre uma variação da demanda hídrica por ciclo. Resultados encontrados por Munitz *et al.* (2019), Correia (2012) e López-Urrea *et al.* (2012) em diferentes países como, Israel, Brasil e Espanha, mostraram uma média de 715 mm, 385 mm e 470 mm, respectivamente.

No cultivo da videira, a água tem extrema importância para seu desenvolvimento e como trato cultural, uma vez que o manejo de irrigação com fornecimento de água limitado vem sendo desenvolvido com o intuito de manipular o crescimento vegetativo e reprodutivo, controlar crescimento e qualidade das uvas, utilizando o estado hídrico da videira como um fator de produção (Basso *et al.*, 2011). Nesse contexto, a técnica do controle do déficit hídrico é utilizada por diversos produtores para manipular a qualidade da uva para vinho de qualidade (Dry *et al.*, 2001).

Tanto o déficit quanto o excesso de água podem afetar de maneira significativa o desenvolvimento da videira em função do estágio fenológico no qual a cultura se encontra. Por ser uma planta considerada relativamente tolerante ao déficit hídrico, um menor aporte de água dentro de um intervalo de tolerância (déficit hídrico considerado de leve a moderado) e entre as fases de início de maturação (pintor) e maturação, pode conferir até mesmo características bioquímicas de qualidade aos frutos, como aumento no teor de sólidos solúveis e polifenóis (Souza, 2010).

Em estudo realizado por Pirata (2018), observou que a indução do déficit hídrico próximo à fase de colheita resultou em redução no tamanho das bagas; Entretanto, elas apresentaram maior concentração de sólidos solúveis e maior concentração de compostos fenólicos. É importante ressaltar que bagas pequenas, resultam no aumento da relação peso de casca/polpa e, conseqüentemente, exercem efeito direto sob concentração dos compostos fenólicos na casca da baga (Vaz *et al.*, 2016).

Contudo, um déficit hídrico exagerado pode causar perdas em quantidade e qualidade e ameaçar a longevidade do vinhedo ao reduzir as reservas de órgãos vegetais (Pellegrino *et al.*, 2014). Também é necessário frisar que o déficit hídrico afeta a disponibilidade e a absorção de nitrogênio, reduzindo assim a síntese de alguns precursores de compostos aromáticos, como tiois e a quantidade de nitrogênio fermentável no mosto, o que pode causar problemas de fermentação (Helwi *et al.*, 2016; Peyrot des Gachons *et al.*, 2005).

O cultivo da uva para vinho, é sensível às mudanças climáticas, sendo dependente da manutenção da temperatura adequada para o seu cultivo (Jones *et al.* 2005; Shaw, 2017). Geralmente as regiões vitivinícolas bem-sucedidas estão geralmente limitadas a áreas com temperaturas médias na estação de cultivo que variam entre 12 e 24 °C (Schultz e Jones 2010). Diferenças interanuais nas temperaturas e umidade afetam o crescimento da videira, podendo levar a vinhos de qualidade inferior e, ao mesmo tempo aumentando a suscetibilidade da videira a doenças (Holland; Smit 2014).

A temperatura máxima ideal para o crescimento e desenvolvimento da videira, deve estar entre 30 e 35 °C (Keller, 2020; Keller *et al.* 2022). Temperaturas inferiores a 15 °C e superiores a 40 °C prejudicam a viabilidade do pólen e diminuem a frutificação, o desenvolvimento de sementes e frutos e a fecundidade dos botões. Além disso, a exposição dos frutos a temperaturas elevadas (superiores a 45 °C) pode resultar em murchas e queimaduras no fruto, reduzindo sua qualidade e seu valor comercial (Vasconcelos *et al.* 2009; Gouot *et al.* 2019; Gambetta *et al.* 2021, Müller *et al.* 2023).

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi realizado em um vinhedo comercial localizado em Bonfim Paulista, distrito do município de Ribeirão Preto - SP, na vinícola Terras Altas, contendo 1,1 ha, situado nas coordenadas geográficas 21° 17' 24,53" S e 47° 50' 46,83" O, e a uma altitude média de 730 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico nitossólico, textura argilosa (Santos *et al.*, 2018). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região onde está localizado o vinhedo é Aw (Barbosa, 2019), clima subtropical úmido, com inverno seco e verão quente, com índice pluviométrico entre 1300 e 1600 mm, e temperatura do ar média anual entre 20 e 22°C (Alvares *et al.*, 2013).

O vinhedo foi implantado em 2017 com a cultivar 'Syrah', sustentada no sistema de espaldeira e conduzida por cordão *Royat* bilateral, com quatro fios de arame (primeiro fio de arame simples, estando posicionado a 80 cm do solo, segundo e

terceiro fio de arame duplo 1,10 e 1,50 cm respectivamente e quarto fio de arame 1,85 cm), com uma altura total da espaldeira de 2 m. O espaçamento de 2,8 m entre fileiras e 1 m entre plantas. O vinhedo contém 24 fileiras, sendo 14 fileiras com as videiras enxertadas no porta-enxerto 'Paulsen 1103' e 10 fileiras com o porta-enxerto 'IAC 572'. As videiras são cultivadas na orientação norte-sul.

O vinhedo é irrigado por um sistema de irrigação por gotejamento e possuem uma linha de emissores on-line por fileiras de planta e com vazão aferida de 4 L h⁻¹. Os emissores estão instalados a uma altura de 0,5 m acima do solo e espaçados a cada 1 m (1 emissor/planta).

1.3.2 Monitoramento da umidade do solo

O monitoramento da umidade do solo ($\theta \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) foi feito a partir da leitura seis baterias de tensiômetros, com sensores às profundidades de 0,20, 0,40, 0,60, 0,80 e 1,0 m. O critério para instalação do local de instalação das baterias foi baseado nos mapas de zonas homogêneas gerados a partir nas medidas de CEa e θ realizados durante o ciclo de formação de plantas de 2019. Na tabela abaixo (Tabela 1) encontram-se os dados referentes aos parâmetros da curva de retenção para as seis baterias de tensiômetro com suas respectivas profundidades.

Tabela 1 - Parâmetros da curva de retenção para as cinco camadas de solo, em cada uma das seis baterias de tensiômetros.

Bateria 1	θ_s	θ_r	α	n	m
0,20	0,6307	0,3083	0,0572	1,2262	0,1845
0,40	0,5985	0,2937	0,0849	1,8453	0,46
0,60	0,6116	0,2355	0,1101	1,5897	0,3710
0,80	0,5478	0,2128	0,0954	1,3954	0,2834
1,00	0,6035	0,1992	0,1146	1,2182	0,1791
Bateria 2	θ_s	θ_r	α	n	m
0,20	0,5523	0,3132	0,0254	1,1534	0,1330
0,40	0,5225	0,3020	0,0128	1,1498	0,1303
0,60	0,5188	0,3610	0,0028	1,8968	0,4728
0,80	0,6516	0,3814	0,0583	1,6181	0,3820
1,00	0,6098	0,3621	0,0312	1,3321	0,2493
Bateria 3	θ_s	θ_r	α	n	m
0,20	0,5315	0,2942	0,0221	1,1125	0,1012
0,40	0,6511	0,3060	0,0148	1,1453	0,1268

0,60	0,6164	0,3278	0,0140	1,1609	0,1386
0,80	0,5728	0,2995	0,0212	1,1353	0,1192
1,00	0,6056	0,3723	0,0348	1,4627	0,3163
Bateria 4	θ_s	θ_r	α	n	m
0,20	0,5625	0,3225	0,0266	1,0752	0,0699
0,40	0,5755	0,2806	0,0259	0,9916	-0,0084
0,60	0,5689	0,2217	0,0182	0,9409	-0,0628
0,80	0,563	0,2235	0,0166	0,8559	-0,1683
1,00	0,4391	0,1786	0,0464	0,9906	-0,0095
Bateria 5	θ_s	θ_r	α	n	m
0,20	0,5651	0,2836	0,0265	1,0958	0,0874
0,40	0,6095	0,3021	0,0392	1,1022	0,0927
0,60	0,4663	0,2599	0,0348	1,2037	0,1692
0,80	0,4767	0,1986	0,0707	1,2232	0,1825
1,00	0,511	0,2081	0,0810	1,3286	0,2473
Bateria 6	θ_s	θ_r	α	n	m
0,20	0,498	0,2836	0,0123	1,1616	0,1391
0,40	0,5763	0,3231	0,0335	1,1900	0,1597
0,60	0,5146	0,3227	0,0124	1,2215	0,1813
0,80	0,5692	0,2994	0,0463	1,2428	0,1954
1,00	0,5638	0,2957	0,0461	1,2618	0,2075

Fonte: Farinassi (2022)

Em que: θ_s - umidade de saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); α - parâmetro recíproco da pressão de entrada de ar (m^{-1}); θ_r - umidade residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); m e n - parâmetros de ajuste da curva;

A determinação da umidade do solo (em base volumétrica) foi obtida pela seguinte expressão (Equação 1) (van Genuchten, 1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha \phi_m|^n]^m} \quad (1)$$

em que: θ_r - umidades volumétricas residual, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; θ_s - umidades volumétricas de saturação, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; ϕ_m - potencial matricial, cm de coluna de água; a, n e m - constantes empíricas, determinadas pelo programa Curvaret (Dourado Neto; Van Lier, 1993).

1.3.3 Balanço hídrico no solo e determinação da evapotranspiração da cultura

O balanço hídrico em um cultivo agrícola é baseado na contabilização das entradas e saídas de água em uma camada de solo durante um determinado período. A camada de 0-40 cm foi considerada para realização, foi definida com base na camada que apresentou a maior contribuição ao processo de evapotranspiração da cultura (ET_c, mm).

O balanço hídrico no solo para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c, mm), foi fundamentado na equação 2 (Libardi *et al.*, 2000)

$$P + I \pm R \pm Q \pm \Delta A - ET_c = 0 \quad (2)$$

Em que: P: precipitação pluvial (mm); I: lâmina de água aplicada pela irrigação (mm); R: escoamento superficial (mm); Q: densidade de fluxo de água ascendente ou descendente (mm); ΔA : variação do armazenamento de água no solo (mm).

Os valores de P (precipitação pluvial, mm) foram determinados com o auxílio de um pluviômetro instalado na vinícola, enquanto os valores de I (lâmina de água aplicada pela irrigação, mm) foram determinados em função do tempo de irrigação, teste de vazão e faixa de umedecimento do solo. O escoamento superficial (R) foi considerado desprezível, devido à topografia plana do vinhedo. A precipitação foi considerada efetiva, pois de segundo Myburgh (2004), os efeitos do dossel na interceptação de chuva em vinhedos são relativamente pequenos.

O fluxo total de água (Q), ou seja, as perdas por drenagem (-Q) ou os ganhos por ascensão capilar (+Q), de água da zona radicular por meio do limite inferior do volume de solo estudado ($z = 40$ cm), respectivamente, foram determinados a partir da equação (Equação 3):

$$Q = \int_0^t q dt = q \int_0^t dt = q(t-0) = q\Delta t \quad (3)$$

Em que: q (mm d⁻¹) a densidade de fluxo de água no limite inferior do volume de solo delimitado pela zona radicular e dt o intervalo de tempo de estudo do balanço hídrico. As densidades de fluxo (q) foram estimadas com base na equação de Darcy-Buckingham (Equação 4):

$$q = -K(\theta) \frac{\Delta \Psi_t}{\Delta z} \quad (4)$$

Em que: $K(\theta)$ (mm d^{-1}) a condutividade hidráulica não saturada e $\Delta\psi_t / \Delta z$ o gradiente de potencial total em $z = 40$ cm, obtido pela equação abaixo (Equação 5):

$$\frac{\Delta\psi_t}{\Delta z} = \frac{\psi_{t20} - \psi_{t60}}{\Delta z} \quad (5)$$

O armazenamento de água (ARM) no solo foi calculado pela regra do trapézio (Equação 6), considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados desde a superfície ($z = 0$) até a profundidade de interesse ($z = L$) de acordo com a seguinte equação (Libardi, 1995):

$$\text{ARM} = \int_0^L \theta(z) dz = [0,50\theta(z) + \sum_{i=1}^{n-1} \theta(Z_i) + 0,50\theta(Z_n)] \Delta z \quad (6)$$

A variação no armazenamento de água no perfil de solo (ΔA) foi determinada pela diferença dos valores do armazenamento de água do perfil nos tempos inicial e final de cada período considerado, sendo expressa pela seguinte equação (Equação 7):

$$\Delta A = [\theta_f - \theta_i] = A_f - A_i \quad (7)$$

Em que: A_f e A_i os armazenamentos acumulados de água final e inicial, respectivamente.

1.3.4 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado via clima, tendo sido obtido os dados meteorológicos da estação agrometeorológica localizada no município de Pradópolis, SP (-21,33, -48,11, altitude de 540,41 m) pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), que realiza leitura e coleta de dados horários.

De posse dos dados meteorológicos foi realizada, o cálculo da evapotranspiração de referência (E_{To} , mm/dia) foi calculada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) (Equação 8)

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) \cdot \gamma \cdot \left(\frac{900}{T + 273} \right) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta \cdot \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot U_2)} \quad (8)$$

Em que: Δ é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n é o radiação líquida diária ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$); γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T é a temperatura média compensada do ar ($^\circ\text{C}$); U_2 é a velocidade do vento medido a altura de 2 m (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão de vapor atual do ar (kPa).

Após o cálculo da evapotranspiração de referência, foi determinada a evapotranspiração da cultura (ET_c , mm/dia) (Equação 9), utilizando os coeficientes de cultivo (K_c) apresentados pelo boletim FAO-56 (Allen *et al.*, 1998)

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (9)$$

Em que: ET_c , a evapotranspiração da cultura (mm/dia); ET_o a evapotranspiração de referência (mm/dia); K_c , coeficiente de cultura (adimensional)

De posse da evapotranspiração da cultura, foi feito o cálculo de tempo de irrigação (TI) conforme a equação abaixo:

$$TI = \frac{ET_c \cdot AP}{n \cdot Q}$$

Em que: TI , o tempo de irrigação (h); ET_c , a evapotranspiração da cultura (mm/dia); AP , a área ocupada pela planta (m^2); n , número de gotejadores por planta; Q , a vazão do gotejador (L/h)

1.3.5 Determinação do coeficiente de cultivo

De posse dos dados de evapotranspiração da cultura (ET_c , mm) e evapotranspiração de referência (ET_o , mm/dia) será coeficiente de cultivo (K_c), com base na seguinte relação (Equação 11):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (11)$$

Em que: K_c , coeficiente de cultivo (adimensional); ET_c , evapotranspiração da cultura (mm); ET_o , evapotranspiração de referência (mm).

Para determinação do coeficiente de cultivo (Kc) de cada estágio fenológico, e consequentemente a demanda hídrica da cultura foi realizado o acompanhamento de todo o ciclo da cultura para determinar o começo e o final de cada estágio fenológico. Na tabela abaixo (Tabela 2), estão as datas de começo e final dos respectivos estágios fenológicos nos ciclos produtivos de 2021 e 2024.

Tabela 2 - Datas de duração de cada estágio fenológico e dias após a poda (dap) nos ciclos produtivos de 2021 e 2024 da videira “Syrah” cultivada sob dupla poda em Bonfim Paulista, Ribeirão Preto – SP.

Estádio fenológico	2021		2024	
	Data	dap	Data	dap
Início do Florescimento (IF)	10/mar	37	07/mar	24
Baga em Tamanho de “ervilha” (BTE)	24/mar	51	14/mar	52
Cacho Fechado (CF)	21/abr	79	15/abr	80
Início da Maturação (IM)	11/mai	99	09/mai	102
Maturação Plena (MP)	15/jun	134	03/jun	129

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

1.3.6 Condições climáticas soma térmica (graus-dias)

Os dados meteorológicos para classificação climática foram obtidos da estação agrometeorológica localizada no município de Ribeirão Preto, SP (-21,20, -47,87, altitude de 632 m) pertencente a APTA – IAC (Agência Paulista de Tecnologias do Agronegócio – Instituto Agrônomo de Campinas), que realiza leitura e coleta de Temperatura do Ar e Umidade Relativa do Ar diariamente.

Para caracterização das exigências térmicas, foi também utilizados os dados da estação agrometeorológica de Ribeirão Preto, sendo feito o somatório de graus-dia (GD) durante o ciclo de produção de uvas e o ciclo de formação de ramos, utilizando-se da temperatura-base de 10° C (Equação 11) e os (Pedro Júnior *et al.*, 1994):

$$GD = \sum (T_m - 10^{\circ}\text{C}) \times \text{número de dias} \quad (11)$$

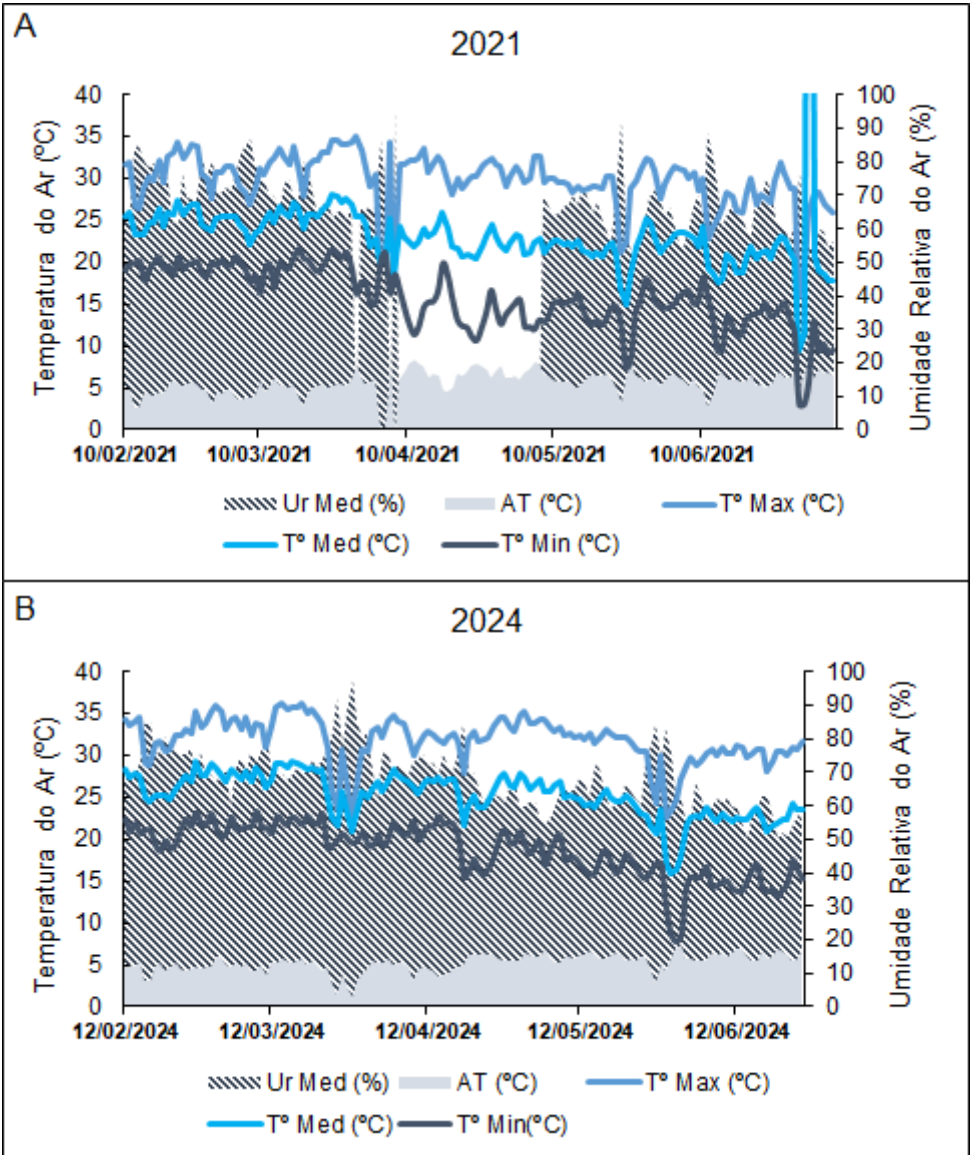
Em que: GD: graus-dia (° C); Tm: temperatura média diária (°C).

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1 Condições climáticas

A caracterização climática dos anos de 2021 e 2024, durante os ciclos de 2021 e 2024, evidencia variações expressivas em temperatura do ar, umidade relativa e amplitude térmica (AT), os quais exercem influência direta sobre o manejo hídrico e o desempenho fisiológico da cultura.

Figura 1 - Médias mensais de Temperatura máxima, Temperatura mínima, Temperatura média, Amplitude térmica e Umidade relativa nos ciclos de 2021 e 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

No ciclo de 2021, observou-se um ambiente climático mais instável, com temperaturas máximas frequentemente superiores a 30 °C e mínimas que chegaram abaixo dos 10 °C. Esse contraste resultou em amplitudes térmicas diárias elevadas, refletindo um cenário de maior estresse térmico para as plantas. A temperatura média também apresentou maior oscilação, o que pode afetar negativamente a uniformidade fenológica da videira. A umidade relativa do ar (Ur Med) variou amplamente, entre cerca de 40% e 90%, ampliando a demanda evaporativa da atmosfera e, por consequência, a exigência por uma irrigação mais precisa e frequente.

No ano de 2024, os dados indicam um padrão climático mais moderado e estável. As temperaturas máximas se mantiveram abaixo dos extremos observados em 2021, e as mínimas raramente ficaram abaixo dos 10 °C. Essa menor amplitude térmica favorece condições fisiológicas mais equilibradas, reduzindo o risco de estresse e possibilitando uma curva de maturação mais uniforme. A umidade relativa permaneceu alta e com menor variação, situando-se predominantemente entre 60% e 90%, o que contribui para uma menor pressão evaporativa e, consequentemente, menor demanda hídrica via irrigação.

A comparação entre os dois anos evidencia que o ciclo de 2021 apresentou os maiores extremos climáticos de temperatura do ar, amplitude térmica e umidade, o que potencialmente pode elevar o consumo de água. Entretanto, no ano 2024 mostrou-se mais favorável ao cultivo, com condições mais estáveis. No que tange a amplitude térmica, 2021 apresentou valores mais elevados, que apesar de favorecerem a síntese de compostos fenólicos importantes para a qualidade enológica, podem favorecer a ocorrência de estresses fisiológicos.

1.4.2 Componentes do balanço hídrico

Na tabela abaixo (Tabela 3), são apresentados os componentes do balanço hídrico no durante os ciclos produtivos de 2021 e 2024. Durante o ciclo produtivo de 2021 foi considerado o período entre 17/02/2021 a 07/07/2021 e no ciclo produtivo de 2024, 19/02/2024 a 20/06/2024.

Tabela 3 - Componentes do balanço hídrico no solo durante o período produtivo da videira “Syrah” cultivada sob dupla poda em Bonfim Paulista, Ribeirão Preto – SP.

PERÍODO	I (mm)	P (mm)	Θ (m ³ m ⁻³)	Q (mm)	ΔA (mm)
Ciclo Produtivo 2021					
17 - 24 fev	2,6	38	0,51	-0,08	0,1
24 fev - 3 mar	3,9	17,5	0,48	0,08	-7,1
3 - 10 mar	7,7	12,5	0,45	-0,13	-7,6
10 - 24 mar	18	68	0,41	0,13	-22,5
24 - 31 mar	23,1	41	0,46	2,94	25,9
31 mar - 7 abr	1,3	0	0,48	-0,97	3,9
7 - 21 abr	18	5	0,45	-0,22	-4,9
21 - 28 abr	25,7	38	0,45	-0,66	-0,9
28 abr - 5 mai	6,4	0	0,47	0,34	6,3
5 - 10 mai	12,9	0	0,46	1,22	-1,9
10 - 19 mai	12,9	0	0,42	2,11	-12,8
19 - 24 mai	15,4	0	0,37	-1,81	-13,7
24 mai - 2 jun	7,7	0	0,40	1,24	14,4
2 - 9 jun	6,4	0	0,38	-1,38	-21,6
9 - 16/jun	18	0	0,35	-1,13	-17,2
16 -23 jun	16,7	20	0,34	5,31	2,8
23- 30 jun	11,6	0	0,34	-3,35	17,6
30 jun - 7 jul	1,3	0	0,36	2,50	9,4
Total	212	240		0,203	-21,4
Ciclo Produtivo 2024					
19 - 27 fev	24	18	0,48	-2,93	8,25
28 fev - 07 mar	8	0	0,51	0,94	-7,60
07 - 14 mar	8	8,5	0,47	-0,13	6,48
14 - 21 mar	20	53	0,50	-0,07	-7,55
21 mar - 04 abr	16	45	0,49	-1,03	-9,41
04 - 15 abr	8	25	0,56	-1,67	9,15
15 - 23 abr	16	0	0,64	0,68	-5,79
23 abr - 02 mai	8	0	0,60	-3,76	-9,87
02 - 09 mai	24	0	0,47	11,20	20,51
09 - 24 mai	8	0	0,42	10,03	-18,78
24 mai - 03 jun	16	0	0,39	10,40	8,23
03 - 11 jun	16	0	0,43	2,65	0,33
11 - 20 jun	24	18	0,44	1,31	8,25
Total	149,5	188		33,04	-121,80

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Durante o ciclo de 2021 verifica-se que nos períodos de 10 – 17 fev a 10 – 24 de mar ocorreram as precipitações mais intensas, registrando valores de 12,5 a 68 mm, com o maior valor observado no período de 3 – 10, e o menor em 24 fev – 3 mar, tendo um acumulado de 240 mm durante todo o ciclo. A irrigação ocorreu em todos os períodos em estudo, tendo sido aplicado um total de 194 mm ao final do ciclo produtivo, sendo a maior lâmina aplicada no período de 7 – 21 abr, no valor de 25,7 mm, e a menor no período de 24 – 31 mar, no valor de 1,3 mm. No ciclo produtivo de 2024 foram registrados menores valores de precipitação em relação ao ciclo de 2021, com valores oscilando entre 8,5 e 53 mm, com as maiores precipitações ocorrendo entre 14 – 21 mar, 21 mar – 04 abr e 04 abr – 15 abr com valores de 53, 45 e 25 mm, tendo um acumulado total de 188 mm durante o ciclo. Embora o acumulado seja inferior ao do ciclo produtivo de 2021, o comportamento de distribuição pluviométrica semelhante ao do ciclo produtivo de 2021, mostrando assim um padrão na concentração de chuvas na região. Entretanto, diferentemente do ciclo produtivo de 2021, a partir do período 15 – 23 abr não é registrado nenhum índice pluviométrico na região, enquanto no ciclo anterior ocorreu precipitação de 20 mm no período de 16 – 23 jun. A irrigação também foi realizada durante todo o ciclo produtivo de 2024, com as maiores lâminas aplicadas em 19 – 27 fev, 14 – 21 mar, 02 – 09 mai e 11 – 20 jun com o valor de 24 mm, tendo ocorrido irrigação em valores maiores a partir de 02 – 09 mai, visto que após o período de 15 – 23 abr não foi registrado chuva na região, tendo apenas reposição de água via irrigação. Embora o ciclo produtivo de 2024 tenha apresentado menor acumulado pluviométrico, também apresentou menor utilização da irrigação, tendo ao final do ciclo sido aplicado 149,5 mm.

Durante o ciclo produtivo de 2021 a umidade do solo, variou entre 0,50 e 0,34 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, indicando mudanças na disponibilidade hídrica ao longo do período de avaliação. Observa-se que o período de 17 – 24 fev até 5 – 10 mai se destaca tendo mantido a umidade constantemente acima de 0,45 e mantido os mais elevados valores durante o ciclo produtivo.

Um dos fatores que auxiliaram a manutenção da umidade alta durante esse período, foi a precipitação, e aliado a ela, a irrigação quando necessário. Já no período 10 - 19 mai em diante, ocorreu a diminuição da umidade no solo, tendo atingidos valores abaixo de 0,41 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, tendo registrado os menores valores de umidade durante o ciclo, com destaque para os períodos de 16 – 23 jun e 23 – 30 jun com o

menor valor de $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. O ciclo de 2024 é marcado por valores mais elevados de umidade, oscilando entre 0,39 e 0,64, indicando um aumento da umidade em relação ao ciclo de 2021. Os períodos de 4 – 15 abr, 15 – 23 abr e 23 abr – 02 mai, se destacam no ciclo por apresentar respectivamente os maiores valores (0,56; 0,64 e $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$)

A redução de a umidade no ciclo de 2024 ocorreu no mesmo período que no ciclo de 2021, tendo apresentada redução a partir de 02 - 09 mai, tendo atingido o menor valor do ciclo de 2024 durante o período de 24 mai – 03 jun com o valor de $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A baixa umidade do solo nesse período em relação ao outro se deve pela entrada do período seco na região em estudo, que consequentemente, diminui a frequência de ocorrência das precipitações. Foi observada apenas uma no período 2 – 16 jun durante o ciclo de 2021, momento a partir do qual a reposição hídrica no solo ocorrendo apenas via irrigação.

Nota-se uma variação no fluxo de água em ambos os ciclos, com destaque para o ciclo de 2024 o maior ganho de água por ascensão capilar e, ao mesmo tempo, a menor perda por drenagem profunda quando comparado ao ciclo de 2021. Tendo sido observado os maiores ganhos no período de 02 - 09 mai (11,20 mm), 09 - 24 mai (10,40 mm) e 24 mai - 03 jun (10,03 mm), embora tenham ocorrido perdas por drenagem, elas foram consideravelmente menores quando comparadas com o ciclo de 2021. O ciclo de 2021 apresentou destaque em ganhos por ascensão capilar nos períodos entre 16 - 23 jun (5,31 mm) e 24 - 31 mar (2,94 mm), esses ganhos refletem a reposição de umidade no solo após a estação chuvosa. As perdas mais significativas foram registradas em 23 - 30 jun (-3,35 mm) e 19 - 24 mai (-1,81 mm), sendo um dos possíveis motivos para essa perda, a drenagem da água provinda da chuva para camadas mais profundas do solo.

O armazenamento de água no solo (ΔA) apresentou uma oscilação variando entre positivo e negativo para ambos os ciclos, o que indica que em ambos ocorreu períodos de ganho e perda de água. No ciclo produtivo de 2021, ocorreu uma variação entre 25,9 a -22,5 mm, tendo sido registrado perdas significativas de água nos períodos de 10 - 24 mar (-22,5 mm), 5 - 10 mai (-12,8 mm), 19 - 24 mai (-13,7 mm), e 9 - 16 jun (-13,7 mm). Um comportamento diferente é observado no ciclo de 2024 em que os maiores déficits ocorreram entre 9 - 16 jun (-18,78 mm) e 4 - 15 abr (-9,41 mm). No que tange o ganho de água, no ciclo de 2021 os períodos que apresentaram maior ganho de água foram entre 17 - 24 fev (25,9 mm), 30 jun - 7 jul (2,50 mm) e 23 - 30

jun (2,50 mm), enquanto no ciclo de 2024, destacam-se os períodos de 23 abr - 02 mai (20,51 mm), 9 - 24 mai (8,23 mm) e 19 - 27 fev (8,25 mm). Embora tenha ocorrido uma oscilação de ganhos e perdas, tendo no ciclo de 2021 registrado maiores perdas, ele ainda apresenta maiores ganhos de água quando somado e comparado com os valores obtidos no ano de 2024.

1.4.3 Evapotranspiração da cultura

Na tabela abaixo (Tabela 4), se encontram os valores referente a evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c) durante os ciclos produtivos de 2021 e 2024.

Tabela 4 - Evapotranspiração de Referência (ET_o) e Evapotranspiração da Cultura (ET_c) por período, dia e acumulado para os estádios fenológicos da videira “Syrah” cultivada sob dupla poda em Bonfim Paulista, Ribeirão Preto – SP durante os ciclos produtivos de 2021 e 2024.

Ciclo Produtivo 2021						
	B-IF		BTE-CF		IM-MP	
	ET _o (mm)	ET _c (mm)	ET _o (mm)	ET _c (mm)	ET _o (mm)	ET _c (mm)
Período	124,75	97,30	193,93	190,90	176,86	127,90
Diário	4,46	3,48	4,12	4,06	3,70	2,24
Acumulado	124,75	97,30	318,18	288,20	465,06	416,10
Ciclo Produtivo 2024						
	B-IF		BTE-CF		IM-MP	
	ET _o (mm)	ET _c (mm)	ET _o (mm)	ET _c (mm)	ET _o (mm)	ET _c (mm)
Período	89,56	35,83	181,47	224,3	200,2	90,58
Diário	5,27	2,11	3,70	4,58	4,76	2,16
Acumulado	89,56	35,83	271,09	260,13	471,29	350,71

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Legenda: B-IF: Brotação ao início do florescimento; BTE-CF: Bagas em Tamanho de Ervilha e Cacho Fechado; IM-MP: Início da Maturação e Maturação Plena.

Ao final dos ciclos produtivos, observou-se que, no ciclo de 2021, a evapotranspiração de referência (ET_o) acumulada foi de 461,91 mm, enquanto a

evapotranspiração da cultura (ETc) acumulada atingiu 416,10 mm. Enquanto no ciclo de 2024, a ETo acumulada foi de 471,29 mm, com a ETc acumulada de 350,71. Nota-se que o ciclo de 2024, apresentou um acumulado de ETo ligeiramente maior, entretanto, a ETc acumulada ao final do ciclo, foi consideravelmente menor que a obtida no ciclo de 2021. Isso pode ser atribuído a fatores como maiores valores de umidade relativa do ar durante o ano de 2024.

Esses valores são próximos do obtido por Pereira *et al.* (2016) e Bassoi *et al.* (2011), que obtiveram um acúmulo total de 376,4 mm e 333,6 mm ao longo do ciclo produtivo da videira Syrah nas condições edafoclimáticas da região do Vale do Submédio do São Francisco. Porém, podem ser considerados inferiores quando comparados com Ortuani *et al.* (2019), que obteve um acumulado total de 492 mm para a videira Chardonnay na região norte da Itália.

Analisando os estádios fenológicos, observa-se que a fase de Baga em Tamanho de Ervilha – Cacho Fechado (BTE-CF) apresentou os maiores valores de ETc em ambos os ciclos, com destaque apresentou valor maior (224,3 mm/período) que o observado em 2021 (190,90 mm/período), isso vai de acordo com o observado por Gonçalves (2015) em que a cultivar Syrah apresentou uma maior taxa de transpiração na fase de fechamento de cacho, indicando assim uma maior demanda hídrica da cultivar nessa fase.

O estágio fenológico de Brotação – Início do Florescimento (B-IF), apresentou os menores valores de ETc, em ambos os ciclos, tendo o ciclo produtivo de 2021 apresentando o maior valor (97,30 mm/período) e o ciclo produtivo de 2024, o menor valor (35,83 mm/período). Os menores valores observados nesse estágio fenológico devem-se à baixa transpiração da videira durante o início da brotação das gemas, esse processo se intensifica com o aumento da superfície foliar e diminui novamente nas últimas semanas do desenvolvimento dos frutos (Assis e Lima Filho, 2003). Tal fato se confirma novamente no presente estudo quando se analisa a ETc no estágio fenológico de IM-MP, ocorre uma redução da ETc em ambos os ciclos em relação ao estágio fenológico de BTE-CF.

Resultados semelhantes foram observados por López-Urrea *et al.* (2012), os quais avaliaram a evapotranspiração da cultura (ETc) por período da videira 'Tempranillo' sob condições semiáridas na Espanha. No primeiro estágio fenológico (brotação–floração), registraram-se os menores valores de ETc por período ao longo de três anos de cultivo, sendo o valor máximo observado no segundo estágio

(floração—início da maturação), seguido de redução no terceiro estágio (maturação—colheita). Comportamento semelhante também foi observado Pereira *et al.* (2016) que observou maiores valores de ETc nas fases correspondentes a Floração e Maturação.

Quando se compara as médias diárias obtidas no ciclo produtivo de 2021 com as obtidas por Pereira *et al.* (2016), os valores podem ser considerados relativamente próximos no estágio B-IF e BTE-CF (3,48 e 4,06 mm/dia), estão próximos ao obtido no referido estudo (3,1 e 3,9 mm/dia), já no IM-MP, o valor de 2021 (2,24 mm/dia) também é ligeiramente inferior ao obtido por Pereira *et al.* (2016) (2,4).

Entretanto, quando se compara com os valores obtidos no ciclo de 2024, são considerados relativamente menores, com exceção da fase de BTE-CF do ciclo de 2024 (4,59 mm/dia), que é apresenta uma média diária de ETc elevada em relação à obtida por Pereira *et al.* (2016) (3,90 mm/dia).

Corroborando com o comportamento obtido nos ciclos de 2021 e 2024, Munitz *et al.* (2019) observa um comportamento semelhante na ETc da videira 'Cabernet Sauvignon' em quatro ciclos produtivos, apresentando baixos valores na fase de brotação, seguindo por um aumento até as fases correspondentes à de fechamento do cacho até início da maturação, seguida por um declínio do início da maturação até a colheita.

1.4.4 Coeficiente de cultivo

Na tabela abaixo (Tabela 5) se encontram os valores obtidos para os coeficientes de cultivo (Kc) para cada estágio fenológico durante os ciclos produtivos de 2021 e 2024.

Tabela 5 - Valores de coeficiente de cultivo (Kc) para cada estágio fenológico da videira “Syrah” cultivada sob dupla poda em Bonfim Paulista, Ribeirão Preto – SP durante os ciclos produtivos de 2021 e 2024.

Estádios Fenológicos	Ciclo Produtivo	
	2021	2024
B-IF	0,8	0,4
BTE-CF	1,0	1,2
IM-MP	0,7	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

B-IF: Brotação ao início do florescimento; BTE-CF: Bagas em Tamanho de Ervilha e Cacho Fechado; IM-MP: Início da Maturação e Maturação Plena.

Um comparativo entre os ciclos mostra que os valores oscilaram no ciclo produtivo de 2021, os valores obtidos foram de 0,8; 1,0 e 0,7 para os respectivos estádios fenológicos. Já para o ciclo produtivo de 2024 foram obtidos os valores de 0,4; 1,2 e 0,5. Nota-se que para o ciclo produtivo de 2021 foram obtidos majoritariamente valores maiores durante os estádios de B-IF e IM-MP em relação ao ciclo de 2024, um dos motivos para a obtenção de maiores valores Kc durante esse período seria o acumulado de chuvas e irrigação aplicado entre os ciclos que foi maior em 2021 (68 e 14,2 mm B-IF; 20 e 74 mm IM-MP) do que em 2024 (18 e 24 mm B-IF; 0 e 64 mm IM-MP). Já na fase de BTE-CF, ocorre um aumento da precipitação e irrigação no ciclo de 2024 (131,5 e 68 mm) em relação ao 2021 (77,2 e 111 mm), resultado assim, em um maior valor de Kc para o referido ciclo. Segundo Allen *et al.* (1998) em situações de irrigação frequente ou durante períodos de intensa precipitação, podem influenciar no Kc, resultado em maiores valores. Tal fato também é observado por Picón-Toro *et al.* (2012) que observou maiores valores de Kc após períodos chuvosos.

Andrade *et al.* (2023) avaliando o Kc de três cultivares (Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain) de uva para vinho no agreste Pernambucano, obteve os maiores valores médios de Kc nas fases de Início da Brotação – Frutificação e Frutificação – Início da Maturação de 1,1 e 0,65, respectivamente, o que corrobora com o presente estudo, no qual o valor mais elevado de Kc é observado na fase que compreende Baga em Tamanho de Ervilha até o Fechamento do Cacho (B-IF), que compreende o período de frutificação, encerrando-se com o começo da maturação.

No período de IM-MP ocorre uma redução do Kc pois à medida que ocorre a maturação, as folhas passam pelo processo de senescência e transpiram menos, conjuntamente, ocorre a diminuição do índice de área foliar, o que reduz a área de superfície para transpiração (Allen *et al.*, 1998). Os valores obtidos para esses estádios fenológicos são próximos ao obtido por Gautam *et al.* (2021) que obteve os valores de 0,6; 0,5 e 0,4 para os estádios fenológicos de Início da Maturação, Maturação, Pré Colheita e Colheita, respectivamente, para a cultivar Cabernet Sauvignon na região Sul da Austrália.

Os valores obtidos em ambos os ciclos são considerados elevados quando comparados com o recomendado pelo boletim FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) (0,30; 0,70

e 0,45). Todavia, os valores podem ser considerados próximos aos obtidos por Williams *et al.* (2022), que trabalharam com um único valor médio de Kc para videira Syrah na Califórnia, EUA e obtiveram uma média geral de 0,8. Quando se considera o valor médio de Kc para os ciclos de 2021 e 2024, são obtidos respectivamente os valores de 0,8 e 0,7. Em uma revisão de literatura realizada por Rallo *et al.* (2021) sobre o Kc médio de videiras para vinho, o Kc médio variou de 0,51 a 0,80, corroborando com valores observados no presente estudo.

1.4.5 Soma térmica

Na tabela abaixo (Tabela 5) se encontram os valores referentes às necessidades térmicas da videira, expressas em graus dias (GD °C) e Graus Dias Acumulados (GDA °C) para os ciclos produtivos de 2021 e 2024.

Tabela 5 - Valores de Graus Dias (GD), Graus Dias Acumulados (GDA) e Total em °C para cada estágio fenológico da videira “Syrah” cultivada sob dupla poda em Bonfim Paulista, Ribeirão Preto – SP durante os ciclos produtivos de 2021 e 2024.

Ciclo Produtivo 2021			
	B-IF	BTE-CF	IM-MP
GD (°C)	237,47	462,18	411,27
GDA (°C)	237,47	462,18	1110,68
Ciclo Produtivo 2024			
	B-IF	BTE-CF	IM-MP
GD (°C)	254,70	721,66	393,47
GDA (°C)	254,70	976,36	1369,83

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Legenda: B-IF: Brotação ao início do florescimento; BTE-CF: Bagas em Tamanho de Ervilha e Cacho Fechado; IM-MP: Início da Maturação e Maturação Plena.

A necessidade térmica total para a videira Syrah sob dupla poda durante os ciclos produtivos de foi de 1110,68°C, com uma duração total de 146 dias para o ciclo de 2021, e enquanto no ciclo produtivo de 2024, apresentou uma exigência térmica

de 1369,83°C com uma duração de 123 dias. Avaliando a necessidade térmica para os referidos estádios fenológicos, é observado uma demanda de 237,47; 462,18 e 411,27°C para os estádios fenológicos de B-IF, BTE-CF e IM-MP, respectivamente, durante o ciclo produtivo de 2021. No ciclo produtivo de 2024 as necessidades térmicas para os mesmos estádios fenológicos foram, respectivamente, 254,70; 721,66 e 393,47 °C. A fase de B-IF em ambos os ciclos apresentou valores bem próximos de GD, corroborando com o observado para amplitude térmica nesse estágio fenológico, que apresentou maior concentração de valores em torno de uma média em ambos os anos.

Nota-se que embora o ciclo de 2024 tenha apresentado um maior total, apresenta uma concentração de maior demanda térmica na fase de BTE-CF, o mesmo comportamento é observado no ciclo produtivo de 2021, entretanto, após não ocorre um decréscimo tão elevado da fase de BTE-CF para IM-MP (462,18 para 411,27 °C) no ciclo de 2021, enquanto no ciclo de 2024, ocorre um decréscimo mais significativo (721,66 para 393,47 °C), isso ocorre devido à influência da dispersão de valores de amplitude térmicas observadas para o referido estágio fenológico no ciclo de 2024, atrelado a isso, têm-se também a observação de valores mais elevados de temperatura média, o que corrobora para um maior acúmulo de GD.

Já na fase de IM-MP o ano de 2021 apresentou um valor maior em relação ao ano de 2024, isso pode ser atrelado ao fato do ciclo mais longo para o ano de 2021, que favoreceu o maior acúmulo de graus dias para concluir o ciclo. Um dos fatores que contribuiu para a redução do ciclo da cultura no ano de 2024, foi a ocorrência de maiores valores de radiação solar na fase inicial da cultura, resultando em um adiantamento do ciclo na fase inicial, e maior amplitude térmica nas fases finais (IM-MP), favorecendo o processo de maturação e adiantando a colheita.

Costa (2021) avaliando a exigência térmica da videira Cabernet Franc nas condições climáticas de Espírito Santo do Pinhal na região nordeste do estado de São Paulo em três áreas, observou uma exigência térmica de 1888,45; 1839,10 e 2036,70 °C. Entretanto, quando se compara a duração do ciclo, o autor obteve uma duração de 174, 164 e 185 dias, valores consideravelmente mais elevados que o obtido em ambos os ciclos no presente estudo.

Pereira (2014), obteve um acumulado de 1819,0°C em um ciclo de 133 dias para a videira Syrah nas condições edafoclimáticas do Submédio do Vale do São Francisco. Corroborando com os resultados obtidos Vásquez *et al.* (2021) trabalhando

com a cultivar Syrah em condições áridas no Chile, obteve uma exigência térmica média 1808,2 °C.

1.5 CONCLUSÕES

Houve irrigação durante em ambos os ciclos produtivos, aplicando um total de 212 mm no ciclo produtivo de 2021, e 149,5 mm no ciclo produtivo de 2024.

A umidade do solo variou de 0,50 a 0,34 m³ m⁻³ durante o ciclo de 2021, enquanto em 2024 apresentou maiores valores oscilando entre 0,39 a 0,64 m³ m⁻³. Com os maiores valores compreendidos entre fevereiro e maio em ambos os ciclos, devido a combinação de precipitação e irrigação.

Em ambos os ciclos produtivos os menores valores de umidade ocorreram em junho devido à chegada do período seco, sendo a irrigação a principal fonte de reposição hídrica.

Os ciclos de 2021 e 2024 apresentaram variações no fluxo hídrico do solo (Q) mm, tendo o ciclo de 2024, maior ganho por ascensão capilar e menores perdas por drenagem.

A variação do armazenamento de água no solo (ΔA) oscilou entre positivo e negativo para ambos os ciclos, tendo apresentado maiores ganhos no ciclo produtivo de 2021 em relação a 2024.

Ao final do ciclo produtivo, foi observado uma ETc acumulada de 416,10 e 350,71 mm/ciclo para os ciclos de 2021 e 2024, respectivamente, tendo em ambos os ciclos o estágio fenológico de BTE-CF apresentado a maior demanda hídrica

Foram obtidos os valores de Kc de 0,8; 1,0 e 0,7 no ciclo produtivo de 2021 e 0,4; 1,2 e 0,5 durante o ciclo produtivo de 2024, para os estádios fenológicos de B-IF; BTE-CF; IM-MP.

A exigência térmica total para a videira Syrah sob dupla poda foi no ciclo de 2021 foi de 1110,68°C com uma duração de 146 dias, e de 1369,83 °C com uma duração de 123 dias para o ciclo de 2024.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D. S.; SILVA, M. M.; OLIVEIRA, C. L.; LEÃO, P. C. S.; CORREIA, F. C.; ANTONINO, A. C. D.; ALVES, M. F. A. T.; LOPES, M. H. L.; LIMA, J. R. S. Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência no uso de água de uvas viníferas cultivadas no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1376-1386, 01 jun. 2023.
- ANPROVIN. Associação Nacional dos Produtores de Vinagre. Disponível em: <https://anprovin.com.br/>.
- ASSIS, J. S. de.; LIMA FILHO, J. M. P. Aspectos Fisiológicos da Videira Irrigada. In: Patricia Coelho de Souza Leão; José Monteiro Soares. (Org.). **A Viticultura no Semi-Árido Brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000, v. 1, p. 129-145.
- ASSIS, J. S. de.; LIMA FILHO, J. M. P. **Aspectos fisiológicos da videira irrigada**. In: LEAO, P. C. de S.; SOARES, J. M. (Ed.). A viticultura no Semi-Árido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Arido, 2000.
- BARBOSA, J. P. M. Classificação climática do estado de São Paulo através do método de Köppen: análise crítica e aplicação. Trabalho de monografia (Bacharelado em Geografia) Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – IG/UNICAMP. Campinas, SP, Brasil.
- BASSOI, L. H.; GONÇALVES, S. O.; SANTOS, A. R. L.; SILVA, J. A.; LIMA, A. C. M. Influência de manejos de irrigação sobre aspectos de ecofisiologia e de produção da videira cv. Syrah/Paulsen 1103. **Irriga**, v. 16, p. 395-402, 2011.
- BUESA, I.; HERNÁNDEZ-MONTES, E.; TORTOSA, I.; BARALDI, G.; ROSSELLÓ, M.; MEDRANO, H.; ESCALONA, J. M. Unraveling the physiological mechanisms underlying the intracultivar variability of water use efficiency in Vitis vinifera “Grenache”. **Plants**, v. 11, p. 3008, 2022.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Irrigação inadequada afeta a produtividade, a qualidade dos frutos e impacta o meio ambiente. **VISÃO AGRÍCOLA (USP / ESALQ)**, v. 14, p. 33-37, 2021.
- CONCEICAO, M. A. F.. Irrigação. In: HOFFMANN, A.; SILVEIRA, S. V. da; GARRIDO, L. da R.. (Org.). Produção integrada de uva para processamento: fertilidade e manejo do solo e da água. Brasília: Embrapa, 2015, v. 1, p. 29-39.
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; DE SOUZA, R. T.; ZEOLI, J. de J. S.; DE PAULA, M. V. B. Coeficiente de cultura (Kc) para videira com e sem cobertura vegetal no solo. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 234–249, 2012.

CONCEIÇÃO, M.A.F., TECCHIO, M.A., SOUZA, R.T., SILVA, M.J.R., MOURA, M.F. Estimativa dos coeficientes de cultivo (Kc) de videiras para suco. **Agrometeoros**, v. 25, p. 203-210, 2017.

CORREIA, J. S. **Irrigação deficitária em videira de vinho cv. Syrah durante o período chuvoso no semiárido**. 2012. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

COSTA, B. R. S. **Zonas de vigor vegetativo para colheita seletiva em viticultura irrigada com base em sensoriamento proximal**. 2021. 228 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu.

DAROUICH, H.; RAMOS, T. B.; PEREIRA, L. S.; RABINO, D.; BAGAGIOLO, G.; CAPELLO, G.; SIMIONESEI, L.; CAVALLO, E.; BIDDOCU, M. Water use and soil water balance of Mediterranean vineyards under rainfed and drip irrigation management: evapotranspiration partition and soil management modelling for resource conservation. **Water**, v. 14, p. 554, 2022.

DIAS, F. A. N.; MOTA, R. V.; FAVERO, A. C.; PURGATTO, E.; SHIGA, T. M.; SOUZA, C. R.; PIMENTEL, R. M. A.; REGINA, M. de A. Videira 'Syrah' sobre diferentes porta-enxertos em ciclo de inverno no sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 208-215, 2012.

DOURADO NETO, D; VAN LIER, Q.J. Estimativa do armazenamento de água no solo para realização do balanço hídrico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.9-15, 1993.

DRY, P.; LOVEYS, B.; MCCARTHY, M.; STOLL, M. Strategic irrigation management in Australian vineyards. **J. Int. Sci. Vigne Vin**, v. 35, p. 129-139, 2001.

FÁVERO, A.C.; AMORIM, D.A.; MOTA, R.V.; SOARES, A.M.; SOUZA, C.R.; REGINA, M.A. Double-pruning of 'Syrah' grapevines: a management strategy to harvest wine grapes during the winter in the Brazilian Southeast. **Vitis**, v. 50, n. 4, p. 151-158. 2011.

FÁVERO, A. C.; AMORIM, D. A.; MOTA, R. V.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Viabilidade de produção da videira 'Syrah', em ciclo de outono inverno, na região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 685-690, 2008. FERERES, E.; EVANS, R. G. Irrigation of fruit trees and vines: an introduction. **Irrigation Science**, v. 24, p. 55-57, 2006.

GAMBETTA, J. M.; HOLZAPFEL, B. P.; STOLL, M.; FRIEDEL, M. Sunburn in grapes: A review. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 604691, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2020.604691.

GAUTAM, D.; OSTENDORF, B.; PAGAY, V. Estimation of Grapevine Crop Coefficient Using a Multispectral Camera on an Unmanned Aerial Vehicle. **Remote Sensing**, v. 13, p. 2639, 2021.

GONÇALVES, D. A. R. Aspectos fisiológicos de videiras sob o manejo da duplapoda no Sul de Minas Gerais. 2015. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

GOUOT, J. C.; SMITH, J. P.; HOLZAPFEL, B. P.; BARRIL, C. Impact of short temperature exposure of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grapevine bunches on berry development, primary metabolism and tannin accumulation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 168, p. 103866, 2019.

GREER, D. H. **Functional Plant Biology**, v. 49, n. 7, p. 659–671, 2022.

GREER, D. H.; WEEDON, M. M. Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. **Plant, Cell & Environment**, v. 35, p. 1050-1064, 2012.

HELWI, P.; GUILLAUMIE, S.; THIBON, C.; KEIME, C.; HABRAN, A.; HILBERT, G.; GOMES, E.; DARRIET, P.; DELROT, S.; VAN LEEUWEN, C. Vine nitrogen status and volatile thiols and their precursors from plot to transcriptome level. **BMC Plant Biology**, London, v. 16, n. 1, p. 173, 2016.

HOLLAND, T.; SMIT, B. Recent climate change in the Prince Edward County winegrowing region, Ontario, Canada: implications for adaptation in a fledgling wine industry. **Regional Environmental Change**, v. 14, p. 1109–1121, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2023. Disponível em < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/188>>

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF VINE AND WINE - OIV. **STATE OF THE WORLD VINE AND WINE SECTOR IN 2022**. Paris, 20 p. 2023. Disponível em < https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV_State_of_the_world_Vine_and_Wine_sector_in_2022_2.pdf>

JONES, G. V.; WHITE, M. A.; COOPER, O. R.; STORCHMANN, K. Climate change and global wine quality. **Climatic Change**, v. 73, p. 319–343, 2005.

KELLER, M. *The Science of Grapevines*. 3rd ed. London: Elsevier Academic Press, 2020.

KELLER, M. *The science of grapevines: Anatomy and physiology*. **Elsevier**, Burlington. 2010.

KELLER, M.; SCHEELE-BALDINGER, R.; FERGUSON, J. C.; TARARA, J. M.; MILLS, L. J. Inflorescence temperature influences fruit set, phenology, and sink strength of Cabernet Sauvignon grape berries. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 864892, 2022.

LATTUADA, D. S.; ANZANELLO, R.; OLIVEIRA, A. M. R. de; BOTTON, M.; SANTOS, H. P. de. **Cultivo protegido de videiras: um panorama em municípios**

da Serra Gaúcha. Porto Alegre: SEAPDR/ DDPa, 2020. 61p. (SEAPDR/ DDPa. Circular Técnica, 5).

Libardi, P.L. **Dinâmica da água no solo.** 1. ed. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP). 1995. 497p.

LÓPEZ-URREA, R.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, v. 85, p. 15-26, 2006.

MELLO, L. M. R. de; MACHADO, C. A. E. Vitivinicultura brasileira: panorama 2019. **Comunicado técnico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)**, jul. 2020.

MÜLLER, K.; KELLER, M.; STOLL, M.; FRIEDEL, M. Wind speed, sun exposure and water status alter sunburn susceptibility of grape berries. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1145274, 2023.

MUNITZ, S.; SCHWARTZ, A.; NETZER, Y. Water consumption, crop coefficient and leaf area relations of a Vitis vinifera cv. "Cabernet Sauvignon" vineyard. **Agricultural Water Management**, v. 219, p. 86-94, 2019.

MYBURGH, P. A. Determining grapevine canopy effects on effective rainfall in vineyards. **South African Journal for Enology and Viticulture**, v. 25, p. 33-35, 2004.

ORTUANI, B.; SONA, G.; RONCHETTI, G.; MAYER, A.; FACCHI, A. Integrating geophysical and multispectral data to delineate homogeneous management zones within a vineyard in Northern Italy. **Sensors**, v. 19, p. 3974, 2019.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; SENTELHAS, P. C.; POMMER, C. V.; MARTINS, F. P. Determinação da temperatura-base, graus-dia e índice biometeorológico para a videira 'Niagara Rosada'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 51-56, 1994.

PELLEGRINO, A.; CLINGELEFFER, P. R.; COOLEY, N. M.; WALKER, R. R. Management practices impact vine carbohydrate status to a greater extent than vine productivity. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 5, p. 283, 2014.

PEREIRA, G. E.; TONETTO, J.; ZANUS, M. C.; SANTOS, H. P.; PROTAS, J. F. S.; MELLO, L. M. R. **Vinhos no Brasil: contrastes na geografia e no manejo das videiras nas três viticulturas do país.** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2020. 22 p.

PEREIRA, V. C.; SEDIYAMA, G. C.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B. Eficiência do uso da água em videira "Syrah" irrigada no Submédio do Vale São Francisco. **Irriga**, v. 21, p. 269-283, 2016.

PEYROT DES GACHONS, C. P.; VAN LEEUWEN, C.; TOMINAGA, T.; SOYER, J.-P.; GAUDILLÈRE, J.-P.; DUBOURDIEU, D. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv Sauvignon blanc in field conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 85, n. 1, p. 73–85, 2005.

PIRATA, M. S. **ESTUDO STRESS HÍDRICO DA VINHA - CASTAS ARAGONÊS E TRINCADEIRA**. 156 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias e Ambientais) – Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora. Évora, 2018.

PIRES, R. C. M.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação de fruteiras subtropicais (citricultura e videira)**. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (Org.). *Diferentes Abordagens sobre Agricultura Irrigada no Brasil*. Piracicaba: Esalq/USP, 2021. p. 461-497.
 QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; SOUZA ROLIM, G.; PEDRO JUNIOR, M. J.; HERNANDES, J. L. Variações na anatomia foliar de videira Niagara em diferentes sistemas de condução. **Bragantia**, v.70, n.3, p. 488-493, 2011.

R Core Team (2024). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

Reichardt, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4 ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1985, 445p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SCHULTZ, H. R.; JONES, G. V. Climate induced historic and future changes in viticulture. **Journal of Wine Research**, v. 21, p. 137–145, 2010.

SHAW, A. B. Climate change and the evolution of the Ontario cool climate wine regions in Canada. **Journal of Wine Research**, v. 28, n. 1, p. 13–45, 2017.

SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba: FEALQ. 1998

SOUZA, T. P. A. **Efeitos da disponibilidade hídrica na fisiologia e produção de vitis vinifera L. Na região demarcada do douro**. 2010. Tese (Doutorado em Ciências Agrônômicas) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

TEIXEIRA, R. P. **Fisiologia, qualidade e produtividade da videira cv Syrah em diferentes estratégias de irrigação no semiárido**. 2015. xii, 87 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015.

TOMBESI, S.; CINCERA, I.; FRIONI, T.; UGHINI, V.; GATTI, M.; PALLIOTTI, A.; PONI, S. Relationship among night temperature, carbohydrate translocation and

inhibition of grapevine leaf photosynthesis. **Environmental and Experimental Botany**, v. 157, p. 293-298, 2019. ISSN 0098-8472.

TONIETTO, J. PEREIRA, G. E. PEREGRINO, I. REGINA, M. de A. Potencial para construção de Indicações Geográficas de vinhos de inverno do Sudeste brasileiro. **Informe Agropecuário**, v. 41, n. 312, p. 91-98, 2020.

TOSSO, T. J.; TORRES, P. J. J. Water relations of grapevines irrigated at different levels using drip, sprinkler, or furrow irrigation. I. Evapotranspiration and water use efficiency. **Ag Técnica**, v. 46, p. 193-198, 1986.

VASCONCELOS, M. C.; GREVEN, M.; WINEFIELD, C. S.; TROUGHT, M. C. T.; RAW, V. The flowering process of *Vitis vinifera*: A review. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 60, n. 4, p. 411-434, 2009.

VAZ, M.; COELHO, R.; RATO, A.; SAMARA-LIMA, R.; SILVA, L. L.; CAMPOSTRINI, E.; MOTA, J. B. Adaptive strategies of two Mediterranean grapevine varieties (Aragonez syn. Tempranillo and Trincadeira) facing drought: physiological and structural responses. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 28, n. 2, p. 205-220, jun. 2016.

VERDUGO-VÁSQUEZ, N.; GUTIÉRREZ-GAMBOA, G.; DÍAZ-GÁLVEZ, I.; IBACACHE, A.; ZURITA-SILVA, A. Modifications induced by rootstocks on yield, vigor and nutritional status on *Vitis vinifera* cv Syrah under hyper-arid conditions in Northern Chile. **Agronomy**, v. 11, p. 979, 2021.

WILLIAMS, L. E. Determination of evapotranspiration and crop coefficients for a Chardonnay vineyard located in a cool climate. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 65, n. 2, p. 159–169, 2014.

WILLIAMS, L. E.; BAEZA, P. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 58, n. 2, p. 173–181, 2007.

WILLIAMS, L. E.; LEVIN, A. D.; FIDELIBUS, M. W. Crop coefficients (Kc) developed from canopy shaded area in California vineyards. **Agricultural Water Management**, v. 271, p. 107771, 2022. ISSN 0378-3774.

WILLIAMS, L.E.; AYARS, J.E. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. **Agric. Forest Meteorol.**, v. 132, p. 201-211, 2005.

CAPÍTULO 2

DESEMPENHO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA PRADOPOLIS, SP

2.1 INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais primordiais para a agricultura, a água é um recurso crucial e limitante na produção, portanto, a busca por meios que possibilitem seu uso racional na agricultura, torna-se essencial para a garantia da sustentabilidade. (Chartzoulakis; Bertaki, 2015). A agricultura irrigada representa a maior parte da demanda por água, sendo o primeiro setor a ser afetado por sua escassez, resultando em uma menor capacidade de manter a produção *per capita* de alimentos (Bonfante *et al.*, 2018)

Nesse contexto, a gestão da água na irrigação é uma importante ferramenta para garantia de maior eficiência no uso da água na agricultura. Entretanto, para realização adequada dessa gestão de água, é fundamental fazer estimativas precisas das necessidades hídricas das culturas (Ghat *et al.*, 2021).

Uma das formas de se conhecer a necessidade hídrica é pela determinação evapotranspiração (ET), que envolve o movimento de vapor de água da terra para a atmosfera na forma de evaporação do solo e transpiração das plantas. A estimativa da taxa de evapotranspiração para uma cultura específica requer primeiro o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) (Allen *et al.*, 1998).

A ET_o é uma variável que pode ser influenciada por diversos fatores climáticos, como: umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. Com isso, é de suma importância a precisão na medição dessas variáveis para estimar as necessidades hídricas de uma cultura agrícola.

A determinação da ET_o pode ser feita de forma direta com medições em campo ou de forma indireta, a partir da utilização de equações empíricas. Dentre os métodos diretos, podem ser utilizados os lisímetros, equipamentos que permitem realizar a medição direta em campo. Entretanto, possuem um custo elevado e complexidade no seu uso e manejo (López-Urrea *et al.*, 2006; Allen *et al.*, 2011).

Como alternativa, a ETo pode ser estimada de forma indireta a partir de equações empíricas baseadas em dados climáticos. Dentre as equações para se estimar a ETo, o método de Penman-Monteith (PM-FAO) é recomendado como padrão para estimativas da ETo (Allen *et al.*, 1998). O método PM-FAO apresenta duas vantagens em relação aos demais métodos. A primeira é que a equação PM-FAO pode ser usada globalmente sem calibrações locais, devido à sua base física. Em segundo lugar, é uma equação bem documentada que foi testada usando um grande número de lisímetros (Gocic; Trajkovic, 2010). Entretanto, esse método apresenta como principal limitação a necessidade de uma grande quantidade de dados meteorológicos, que frequentemente, não estão disponíveis.

Em situações nas quais não se dispõe de todos os dados meteorológicos, o boletim FAO-56 propõe outras equações matemáticas para estimar os dados faltantes ou a utilização da equação de Hargreaves & Samani, que demanda apenas dados de temperatura do ar. Porém, por ser um método desenvolvido para condições áridas e semi-áridas, pode resultar em superestimação da ETo em locais com climas úmidos (Jensen *et al.*, 1990)

Diversos estudos têm sido feitos com o intuito de avaliar o desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referências em diversas localidades do Brasil e do mundo (Cunha *et al.*, 2013; Bochetti *et al.*, 2016; Pandey *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2017; Tangune; Escobedo, 2019; Junior *et al.*, 2020; Vishwakarma *et al.*, 2022; Filho *et al.*, 2023).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de diferentes equações para estimar a ETo para o município de Pradópolis, SP.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_o) é definida como a taxa resultante do processo de evaporação e transpiração de uma cultura hipotética, cujas características são: altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da cultura ao transporte de vapor d'água igual a 69 s m⁻¹. Assim a ET_o ser utilizada como base para

estimativa da demanda hídrica das culturas em qualquer local e período (Carvalho *et al.*, 2011; Scholberg, 2013).

A determinação da evapotranspiração de referência pode ser feita por métodos diretos ou indiretos. No método direto são utilizados lisímetros, que demandam altos custos em equipamentos, e os métodos indiretos que são baseados em equações parametrizadas a partir dados meteorológicos, os quais nem sempre estão disponíveis nas propriedades na região de interesse (Souza *et al.*, 2015).

O método de Penman-Monteith é recomendado como método padrão pela FAO, considerado vantajoso pela sua capacidade de estimar a ETo em diversas regiões e em diferentes escalas de tempo (Barros *et al.*, 2019).

Apesar do método de Penman-Monteith demonstrar resultados precisos em diferentes condições climáticas, ele necessita de diversas variáveis meteorológicas, como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, entre outras, que não estão disponíveis em todas as regiões (Camargo; Camargo 2000, Santos *et al.*, 2016).

A escolha de um método para estimar a ETo depende de uma série de fatores, em que um deles é a disponibilidade de dados meteorológicos. Os métodos mais complexos que exigem grande número de variáveis somente têm aplicabilidade quando há disponibilidade de todos os dados necessários (Pereira *et al.*, 2002).

Uma alternativa para viabilizar a estimativa da ETo, é o emprego de métodos mais simples, que necessitam de menor número de variáveis meteorológicas (Silva *et al.*, 2018). Porém, esses modelos podem não apresentar boas estimativas, superestimando ou subestimando a ETo quando comparados com o método padrão (Dantas *et al.*, 2016).

De acordo com Jensen, Burman e Allen (1990) e Allen *et al.* (1998), as condições climáticas de um determinado local podem afetar a precisão desses métodos de estimativa da evapotranspiração.

2.2.2 Desempenho de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência

A equação de Penman-Monteith FAO-56 é padrão para estimar a evapotranspiração de referência, na escala diária e mensal em todos os climas, podendo ser usada globalmente sem qualquer calibração local e até para estimativas horárias, devido à incorporação de parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos, pois foi

validada em diferentes ambientes nos quais se utilizam medidas precisas obtidas a partir de lisímetros (Turco, 2019). Por exigir um grande conjunto de variáveis meteorológica (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento, pressão atmosférica (ea) e fluxo de calor do solo (G), a construção e manutenção de estações meteorológicas que coletam esses dados gera um alto custo. Isto dificulta encontrar locais onde todos esses dados estejam disponíveis (Chu *et al.*, 2017), especialmente em países em desenvolvimento que raramente fornecem conjuntos de dados de velocidade do vento e radiação solar por anos consecutivos (Amani; Moghadam, 2023; Bellido-Jiménez *et al.*, 2021; De Paola e Giugni, 2013; Eccel, 2012).

Diante disso, a utilização demande menos variáveis meteorológicas têm se mostrado uma solução prática para superar essa limitação (Ferreira *et al.*, 2018)

Amani e Moghadam (2023) realizaram a divisão das equações para estimativa da evapotranspiração de referência em quatro grupos com base na variável principal de entrada: (i) modelos baseados na transferência de massa (Dalton, 1802; Dracos, 1980; Mahringer, 1970; Meyer, 1926; Penman, 1948), (ii) modelos baseados na radiação solar (Rs) (Abtew, 1996; Irmak *et al.*, 2003; Makkink, 1957; Priestley; Taylor, 1972), (iii) modelos baseados na temperatura do ar (Hargreaves; Samani, 1985) e (iv) modelos híbridos que combinam os três métodos anteriores e tomam vários parâmetros como luz solar, temperatura do ar e umidade relativa como entrada (Alexandris; Kerkides, 2003; Doorenbos, 1977; Valiantzas John, 2013).

De acordo com Moura *et al.* (2013), os métodos que utilizam a temperatura do ar como base têm sido amplamente recomendados e aplicados. Dentre os métodos baseados em temperatura, o método de Hargreaves & Samani é recomendado pela FAO, por exigir apenas de dados de temperatura do ar e radiação solar no topo da atmosfera (Allen *et al.*, 1998). Embora o método de Hargreaves & Samani seja recomendado pela FAO por sua simplicidade, ele possui limitações significativas, especialmente em climas úmidos e semiáridos, e também tem uma tendência de superestimar a evapotranspiração de referência em climas úmidos e condições de alta velocidade do vento, destacando assim a necessidade de calibração local para melhorar sua precisão (Feng *et al.*, 2017; Hargreaves e Allen, 2003).

Uma alternativa é a utilização de métodos que considerem a utilização da radiação solar. Estudos como o de Rigoni *et al.* (2013) demonstraram que métodos

baseados na radiação solar, como Priestley-Taylor e Makkink, frequentemente superam as limitações dos métodos baseados apenas em temperatura, apresentando resultados mais precisos em diversas condições climáticas. De acordo com Pandey *et al.* (2016) o melhor desempenho em relação aos modelos que consideram apenas temperatura do ar está relacionado ao fato de que temperaturas extremas conjuntamente com radiação são os fatores dominantes para conduzir a evapotranspiração de referência.

Todavia, isso pode variar de região para região. Em estudo realizado por Cruz *et al.* (2017) é observado uma superestimativa no desempenho de método de Priestley-Taylor de Rio Verde, GO, que levou o autor a classificar o método o método como sofrível. Santana *et al.* (2019) observaram uma subestimativa de 15,89% no método de Makkink em Balsas, MA, apresentando um desempenho classificado “mediano”. No mesmo estudo, o método de Priestley-Taylor apresentou uma superestimativa de 9,89%, com um desempenho classificado como “péssimo”

Assim antes de se aplicar um método de estimativa da ETo em determinado local, é necessário verificar o seu desempenho e, quando necessário, realizar calibrações para de minimizar erros de estimativa, pois alguns métodos podem superestimar ou subestimar a ETo em determinados locais (Pereira *et al.*, 2009).

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado utilizando dados de Janeiro de 2019 a Dezembro de 2023, oriundos da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Pradópolis (A747) e situada a 540 m de altitude, na região metropolitana de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo. O clima da região é do tipo Aw (inverno seco e verão chuvoso), de acordo com o sistema de Köppen (Barbosa, 2019)

As variáveis meteorológicas obtidas das estações foram: Temperatura Máxima (Tmax), Mínima (Tmin) e Média do Ar (Tmed), Umidade Máxima (Urmax) e Mínima do

Ar (Urmin), Velocidade do Vento a 2m de altura (U2), Radiação Solar (RS) e Precipitação.

2.3.2 Equações de estimativa da evapotranspiração de referência

De posse dos dados climáticos, foi realizado o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) pelo método padrão, FAO-56 Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), e em seguida pelos métodos alternativos, sendo eles: Priestley-Taylor (PT) (Priestley e Taylor, 1972), Benevides e Lopez (BL) (Garcia e Lopez, 1970), Makkink (MK) (Makkink, 1957), Jensen-Haise (JH) (Jensen e Haise, 1963), Abtew (AB) (Oudin *et al.*, 2005), Irmak (IR) (Irmak *et al.*, 2003) e Hargreaves & Samani (HS) (Hargreaves; Samani, 1985).

$$ET_{oPM} = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) \cdot \gamma \cdot \left(\frac{900}{T + 273} \right) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta \cdot \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot U_2)} \quad (1)$$

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{12.17 T_{med}}{T_{med} + 273.3} \right) \right]}{(T_{med} + 273.3)^2} \quad (2)$$

$$e_s = 0.6108 \exp \left[\frac{12.17 T_{med}}{T_{med} + 273.3} \right] \quad (3)$$

$$e_a = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (4)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (5)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (6)$$

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{max} + 273.16)^4 + (T_{min} + 273.16)^4}{2} \right] \cdot (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \cdot \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (7)$$

$$ET_{oPT} = \frac{1.26 \cdot W \cdot (R_n - G)}{\lambda} \quad (8)$$

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (9)$$

$$ET_{oMK} = (0.61 \cdot R_s \cdot W) - 0.12 \quad (10)$$

$$ET_{oBL} = 1.21 \cdot 10 \cdot \left(\frac{7.45 \cdot T_{med}}{234.7 + T_{med}} \right) \cdot (1 - 0.01 \cdot UR_{med}) + 0.21 \cdot T_{med} \cdot 2.30 \quad (11)$$

$$ET_{oJH} = R_s \cdot (0.0252 \cdot T_{med} \cdot 0.078) \quad (12)$$

$$ET_{oAB} = \frac{0.53}{\lambda} \cdot R_s \quad (13)$$

$$ET_{oIR} = 0.149 \cdot R_s + 0.079 \cdot T - 0.611 \quad (14)$$

$$ET_{oHS} = 0.0023 \cdot 0.408 \cdot R_a \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot (T_{med} + 17.8) \quad (15)$$

$W = W$ é o fator de ponderação que representa a fração de R_s , que é utilizada na evapotranspiração, para diferentes valores de temperatura e altitude; Δ é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$); R_n é o radiação líquida diária ($MJ \text{ m}^{-2}d^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($MJ \text{ m}^{-2}d^{-1}$); γ_a é a constante psicrométrica ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$); T é a temperatura média compensada do ar ($^\circ C$); U_2 é a velocidade do vento medido a altura de 2 m ($m \text{ s}^{-1}$); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão de vapor atual do ar (kPa); R_{ns} é o saldo de radiação de ondas curtas ($MJm^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e R_{nl} é o saldo de radiação de ondas longas ($MJm^{-2} \text{ dia}^{-1}$); " α " é o coeficiente de reflexão da vegetação (albedo), sendo considerado igual a 0,23; σ é a constante de Stefan Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{so} é a radiação solar incidente na ausência de nuvens ($MJm^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

2.3.3 Análises estatísticas

2.3.3.1 Variáveis climáticas

Para avaliação do efeito das variáveis sobre a ET_o , foi utilizada a técnica de Análise de Componentes Principais (PCA). A PCA foi aplicada aos dados diários de T_{max} , T_{min} , UR , U_2 , RS e ET_o , separadamente para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023. A técnica da PCA, reduz a dimensionalidade dos dados com muitas variáveis, transformando-as em um novo conjunto consideravelmente menor de variáveis denominadas Componentes Principais (CPs) (Demšar *et al.*, 2013). O critério para seleção dos CPs foi baseado conforme por Kaiser (1974), escolhendo os que apresentarem autovalores maiores que 1.

2.3.3.2 Métodos de estimativa da ET_o

O desempenho dos métodos alternativos em relação ao método padrão foi avaliada utilizando os seguintes indicadores estatísticos:

Índice "d" de Willmont, que serve como um indicador da exatidão do método alternativo em relação ao padrão (Equação 16)

$$d = \frac{\sum_{i=1}^{N_d} (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N_d} (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (16)$$

Coeficiente de desempenho “c”, proposto por Camargo e Sentelhas (1997), que é obtido pela multiplicação do valor do coeficiente de correlação e pelo índice de Willmont.

$$c = r \cdot d \quad (17)$$

Quanto mais próximos a 1 estiverem os índices 'd' e 'c', melhor o desempenho do método, pois indica que os valores obtidos na previsão do modelo em teste são similares aos resultados obtidos com o método padrão (Peixoto *et al.*, 2014).

Outras métricas consideradas para análise do desempenho dos métodos foram o EMA (Erro Médio Absoluto), que serve como um indicador da diferença média entre os valores medidos e os valores estimados, sendo valores mais próximos de zero considerados ideais; RQEMA (Raiz Quadrada do Erro Médio Absoluto) que funciona de maneira semelhante, sendo mais sensível a desvios maiores. Portanto, quanto maior o RQEMA, maiores serão os desvios dos valores simulados (Chai; Draxler, 2014).

Erro Máximo Absoluto (EMAX)

$$EMA = \text{MAX}(|O_i - P_i|) \quad (18)$$

Erro Médio Absoluto (EMA)

$$EMA = \frac{1}{n} \sum |O_i - P_i| \quad (19)$$

Raiz Quadrada do Erro Médio Absoluto (RQEMA)

$$RQEMA = \sqrt{\frac{1}{2} \sum (O_i - P_i)^2} \quad (20)$$

Pi - valor de ETo previsto pelo método avaliado, mm Oi - valor de ETo obtido pelo método padrão FAO Penman-Monteith, mm;

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com o auxílio dos softwares R e Minitab.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Análise de componentes principais dos dados climáticos

Na Tabela 1 está o resultado da Análise de Componentes Principais aplicada aos dados climáticos obtidos da estação meteorológica da área em estudo no período de 2019 a 2023.

Tabela 1 - Resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) para as variáveis meteorológicas durante o período de 2019 a 2023.

Variável	2019		2020		2021		2022		2023	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Tmax	0,50	-0,06	0,53	- 0,07	0,55	- 0,03	0,55	- 0,10	0,51	- 0,20
Tmin	0,24	0,68	0,20	0,69	0,24	0,68	0,29	0,66	0,35	0,55
UR	-0,35	0,56	- 0,35	0,53	- 0,35	0,57	- 0,29	0,62	- 0,34	0,53
U2	0,14	0,42	0,09	0,43	0,15	0,33	0,03	0,25	0,21	0,53
RS	0,50	-0,10	0,49	- 0,07	0,47	- 0,20	0,52	- 0,15	0,45	- 0,22
ETo	0,54	0,10	0,53	0,16	0,51	0,19	0,50	0,23	0,50	0,16
A.V	3,20	1,36	2,66	1,53	2,36	1,54	2,43	1,54	3,14	1,38
Prop.	53,4	22,8	44,5	25,5	39,5	25,7	40,5	25,7	52,4	23,1
Prop. (%)	53,4	76,2	44,5	70,0	39,5	65,2	40,5	66,2	52,4	75,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Legenda: CP: Componente Principal; Tmax: Temperatura Máxima; Tmin: Temperatura Mínima; UR: Umidade Relativa; U2: velocidade do vento; RS: Radiação Solar; ETo: Evapotranspiração de Referência; A.V: autovalor; Prop: Proporção; Prop. (%): Proporção acumulada.

Observa-se que, em todos os anos as variáveis se dividem em dois componentes principais, e seus coeficientes indicam o peso de cada variável na construção desses componentes. Para todos os anos em estudo, nota-se o mesmo comportamento entre

os CP, com as variáveis Rs e Tmax, apresentando os coeficientes mais significativos no CP1 nos anos de avaliação, indicando uma alta influência dessas variáveis nas condições climáticas do local, e consequentemente, na ETo. Já no CP2 observa-se que as variáveis de Tmin e UR apresentaram os maiores coeficientes, indicando que elas explicam a segunda maior variação nas condições climáticas.

Analisando a proporção da variância dos componentes, observa-se que a maior parte da variância é explicada pelo CP1 com valores entre 39,5 e 53,4%, com a adição da proporção explicada pela CP2, ocorre um aumento significativo da variância explicada, que passa para valores de 65,2% a 76,2%, indicando assim, que os dois CP determinados conseguem explicar a maior parte da variabilidade nos dados climáticos.

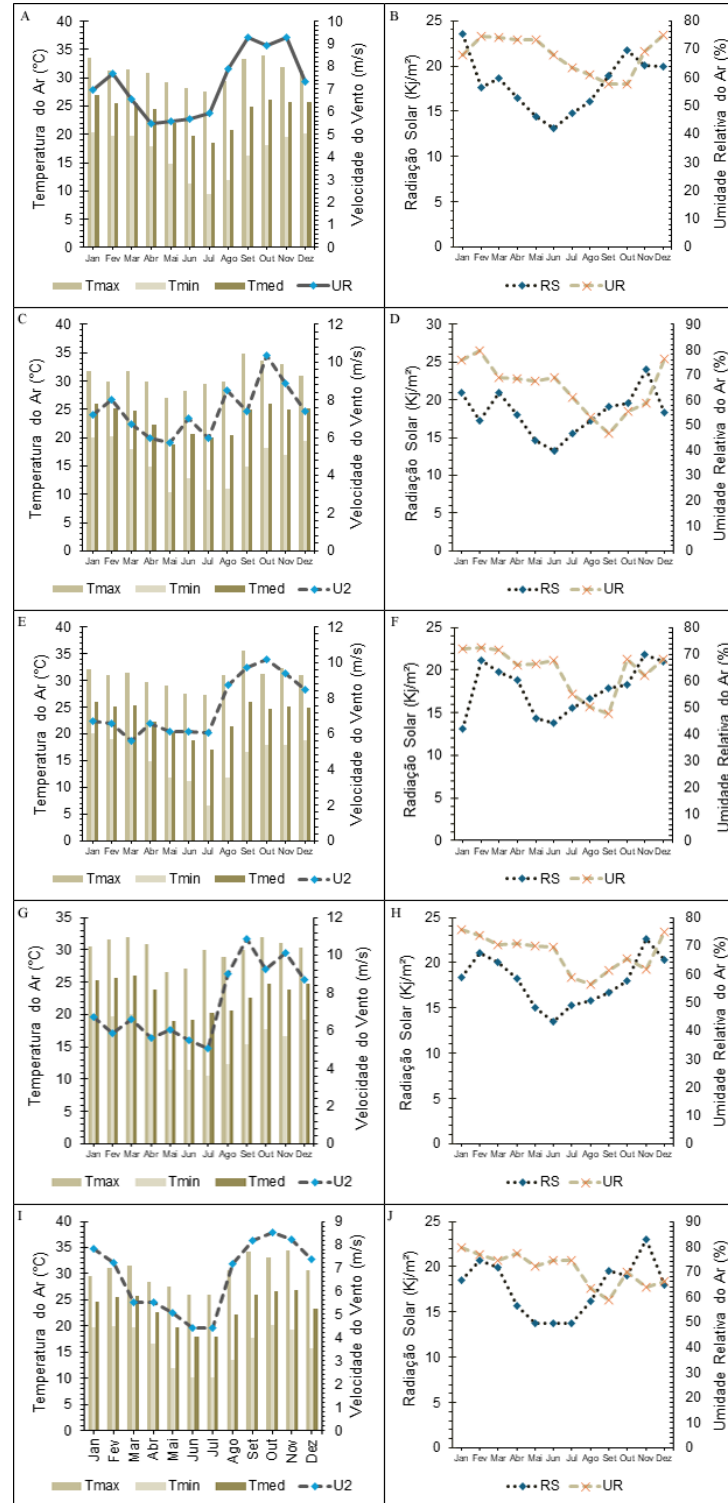
Resultados semelhantes a esses foram obtidos por Monteiro *et al.* (2021) aplicando a técnica da PCA para as mesmas variáveis. Os autores observaram maior influência da Rs na ETo, e enfatizaram a atuação das variáveis Tmax como intensificador da ETo e UR como moderador (sinal negativo). Portanto, o aumento Tmax resulta em aumento na ETo; e o aumento de UR, em redução na ETo. Outros estudos como o de Noia Junior *et al.* (2019) e Araujo *et al.* (2013) também constataram maior efeito da Rs sob a ETo.

2.4.2 Dados climáticos e evapotranspiração de referência

2.4.2.1 Dados climáticos

Nos gráficos (Figura 1) abaixo, encontram-se os valores médios diários mensais das variáveis climáticas Tmax, Tmin, Tmed, UR, U2 e RS para os anos de 2019 a 2023.

Figura 1 - Médias mensais de Temperatura máxima, Temperatura mínima, Temperatura média, Umidade relativa, Velocidade do vento e Radiação solar para os anos de 2019 (A e B), 2020 (C e D), 2021 (E e F), 2022 (G e H) e 2023 (I e J).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os maiores valores de temperatura foram observados no ano de 2021, com as médias mensais máximas oscilando entre 27,47 °C e 35,45 °C, tendo a máxima do ano ocorrido no mês de Setembro. Os meses de Outubro, Setembro, Março e Novembro, foram os que registraram os maiores valores de temperatura nos anos de 2019, 2020, 2022 e 2023, respectivamente. Os menores valores de temperatura para todos os anos em avaliação foram observados no mês de Julho, com exceção do ano de 2020, no qual o menor valor foi registrado no mês de Maio. Tal qual observado para a Tmax, no ano de 2021, registrou-se o menor valor de Tmin (6,63 °C).

Os meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, registraram os valores máximos de UR, tendo o mês de Fevereiro apresentando a maior frequência de ocorrência para a variável analisada. O valor mais elevado foi registrado no mês de Dezembro para o ano de 2023 (79,84%). Já os menores valores, foram observados nos meses de Setembro e Outubro, com o menor valor obtido no mês de Setembro do ano de 2020 (46,47%).

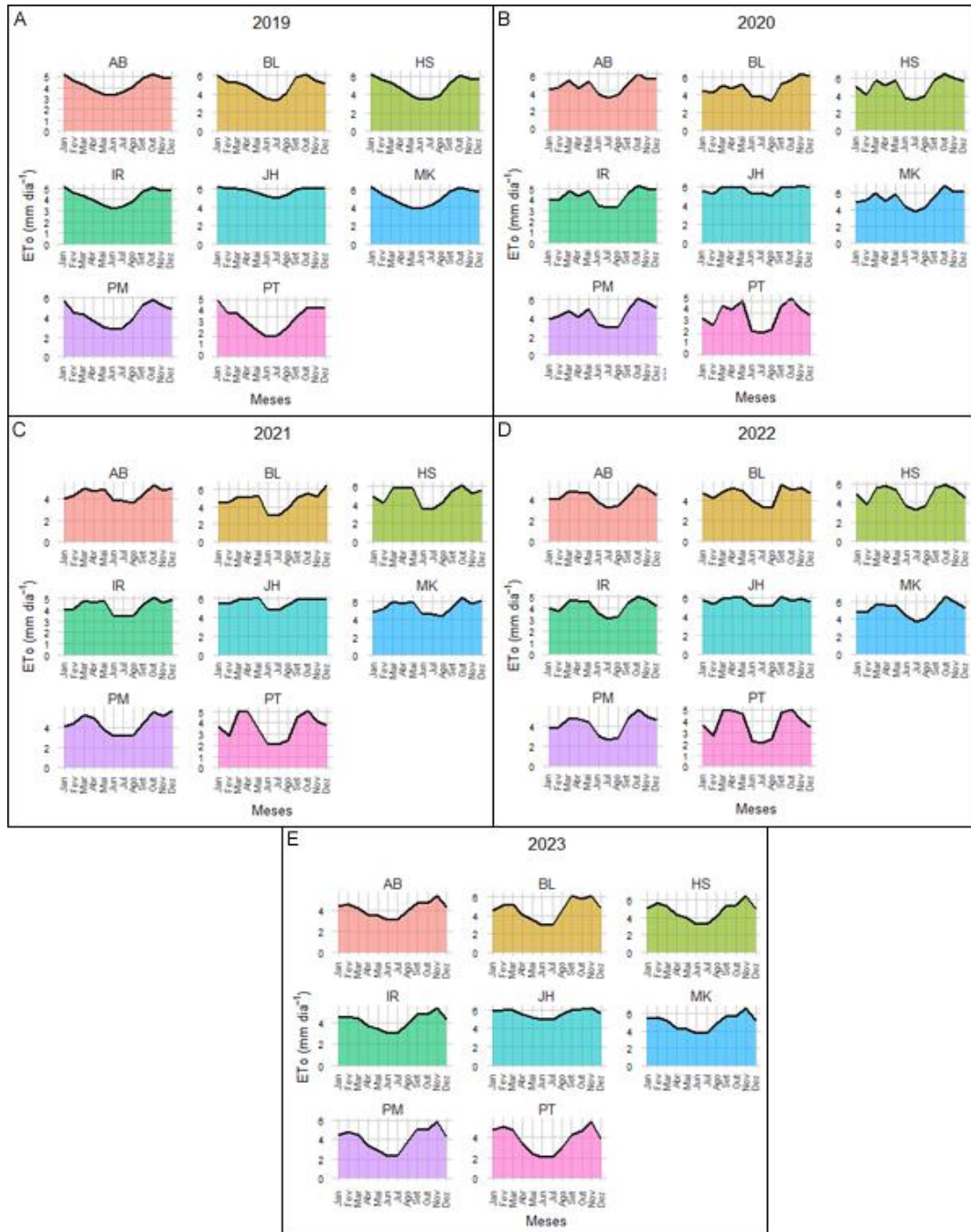
O ano de 2022 apresentou o maior valor de U2, tendo registrado 10,85 km/h no mês de Setembro, enquanto o ano de 2023, apresentou o menor valor registrado em relação às demais épocas de avaliação, sendo observado um valor de 4,44 km/h no mês de Junho.

A variável de RS teve sua maior incidência observada no ano de 2020, tendo registrado uma máxima média de 24,08 no mês de Novembro, e uma mínima de 13,23 no mês de Junho. Os menores valores registrados entre todos os anos de avaliação, foi observado no ano de 2021, tendo sido registrado uma máxima de 21,77 no mês de Novembro, e uma mínima de 13,17 no mês de Janeiro.

2.4.2.2 Evapotranspiração de referência

Nas figuras abaixo (Figura 2 A-E) estão apresentados os valores médios diários de evapotranspiração referentes aos meses de Janeiro a Dezembro do período de 2019 a 2023.

Figura 2 - Valores mensais de ETo obtidos com os métodos de Priestley-Taylor (PT), Benevides e Lopez (BL), Makkink (MK), Jensen-Haise (JH), Abtew (AB), Irmak (IR) e Hargreaves & Samani (HS) para o município de Pradópolis/SP nos anos de 2019 (A), 2020 (B), 2021 (C), 2022 (D) e 2023 (E)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Pode ser observado que os métodos de MK, BL, JH e HS superestimaram a evapotranspiração em todos os meses nos referidos anos de avaliação. O método de JH foi o que apresentou as maiores superestimativas, principalmente no mês de Junho, onde chegou a superestimar a ETo em 110,64% no ano de 2023. Filho *et al.* (2023) também observou uma superestimativa do método de JH nas condições edafoclimáticas de Manicoré, AM.

O método de PT foi o que obteve valores médios mais próximos do método de PM. De modo geral, obteve subestimativas da ETo em relação ao método de PM, tendo sido observadas superestimativas apenas nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro. Os métodos de AB e IR apresentaram variações em seu comportamento ao longo dos anos, sendo notado que a superestimativa para ambos os métodos se concentra no período de Maio, Junho, Julho e Agosto. Nos meses de Março, Agosto e Dezembro os métodos apresentam valores bem próximos ao método padrão, com destaque para o método de IR, que chega a obter valores idênticos, corroborando com o que foi observado por Tangune (2018), que observou uma boa adaptação de ambos métodos no estado de São Paulo.

2.4.3 Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em escala mensal e anual

Nas tabelas abaixo, encontram-se os resultados referentes ao desempenho dos métodos aplicados em escala diária mensal para os anos de 2019 a 2023.

Tabela 2 - Análise de desempenho para o mês de Janeiro referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Janeiro/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	83,0	1,14	0,59	0,77	0,83	0,76	Muito bom
BL	65,81	1,38	0,54	0,73	0,86	0,70	Bom
HS	80,49	1,48	0,67	0,81	0,83	0,74	Bom
IR	84,35	1,34	0,69	0,83	0,77	0,71	Bom
JH	60,05	2,99	0,66	0,81	0,47	0,37	Péssimo
MK	83,31	1,60	0,64	0,80	0,80	0,73	Bom
PT	90,58	1,13	0,22	0,46	0,97	0,92	Ótimo
Janeiro/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	72,94	0,99	0,49	0,70	0,86	0,74	Bom
BL	54,02	1,64	0,63	0,79	0,80	0,59	Sufrível
HS	73,09	1,43	0,78	0,88	0,77	0,65	Mediano
IR	75,84	1,19	0,48	0,69	0,80	0,69	Bom
JH	17,2	3,36	1,11	1,11	0,48	0,19	Péssimo
MK	72,74	1,93	0,96	0,98	0,69	0,59	Sufrível
PT	94,74	0,60	0,30	0,54	0,96	0,94	Ótimo
Janeiro/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação

AB	30,72	3,2	1,44	1,20	0,53	0,29	Péssimo
BL	49,24	3,56	1,64	1,28	0,58	0,40	Péssimo
HS	44,44	3,84	2,03	1,42	0,52	0,34	Péssimo
IR	40,25	3,24	1,36	1,16	0,54	0,36	Péssimo
JH	39,83	4,7	2,31	1,51	0,44	0,27	Péssimo
MK	30,57	4,11	2,20	1,48	0,47	0,26	Péssimo
PT	93,37	1,40	0,52	0,72	0,95	0,92	Ótimo
Janeiro/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	79,43	1,53	0,71	0,84	0,82	0,73	Bom
BL	88,13	1,37	0,65	0,80	0,89	0,83	Muito bom
HS	85,77	1,84	0,92	0,96	0,82	0,76	Muito bom
IR	83,15	1,42	0,73	0,85	0,80	0,73	Bom
JH	79,07	3,57	1,53	1,23	0,59	0,47	Mau
MK	78,06	2,32	1,17	1,08	0,72	0,65	Mediano
PT	97,45	0,58	0,27	0,51	0,98	0,97	Ótimo
Janeiro/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	89,41	1,24	0,67	0,81	0,85	0,80	Muito bom
BL	90,66	1,41	0,50	0,70	0,92	0,88	Ótimo
HS	92,28	1,81	0,69	0,83	0,86	0,83	Muito bom
IR	91,63	1,34	0,70	0,83	0,80	0,77	Muito bom
JH	76,21	3,17	1,50	1,22	0,53	0,46	Mau
MK	89,34	2,08	1,00	1,00	0,76	0,71	Bom
PT	98,20	0,62	0,30	0,54	0,98	0,97	Ótimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

No ano de 2019, o método PT apresentou os menores valores de EMAX (1,13), EMA (0,22) e RQEM (0,46), com valor alto de R^2 de 90,58%, tendo sido o único com desempenho classificado como “ótimo”. Em seguida, o método que mais se destacou foi o de AB, tendo apresentado desempenho “Muito bom”, com baixos valores de EMA, EMAX, RQEM e maior valor de R^2 .

Os métodos de BL, HS, IR e MK, foram classificados como “Bom”, tendo o método de BL apresentando o menor valor de R^2 entre os métodos (65,81%), enquanto os demais métodos, variaram o R^2 entre 80,49 a 84,35%. No que tange a EMA, EMAX e RQEM, os métodos de MK e IR, apresentaram os maiores valores de erros.

Embora o método de BL, tenha apresentado o menor R^2 (65,81%), foi o método que apresentou o menor valor de erros em relação aos demais dessa categoria, tendo valor de EMA, EMAX e RQEM, de 1,38; 0,54 e 0,73.

Em 2020 é possível observar uma mudança no comportamento dos métodos, entretanto, o método de PT manteve seu destaque, sendo o único classificado como “Ótimo”, e apresentando os menores valores de erros e maior valor de R^2 .

O método de AB, embora tenha tido uma queda no índice “d” de 0,76 para 0,74 em relação ao ano de 2019, o método ainda manteve um destaque em relação aos demais, podendo ser classificado como “Bom”. Embora seu R^2 tenha sido reduzido de 83,00 para 72,94%, o método apresentou uma queda nos valores de EMA, EMAX e RQEM. Conjuntamente com o método de AB, o método de IR manteve seu desempenho como “Bom”, tendo apresentado maior valor de R^2 (75,84) em relação ao método de AB.

O método de HS, apresentou uma queda significativa no seu desempenho em relação ao ano de 2019, tendo seu índice “c” reduzido de 0,75 para 0,65, passando a ser classificado como “Mediano”, atrelado a essa queda no desempenho, observa-se redução no R^2 e aumento nos erros.

Os métodos de BL e MK, apresentaram queda no seu desempenho tendo sido classificados como “Sofrível”, mostrando uma queda do desempenho em relação ao ano de 2019, com queda no valor de R^2 , e aumento dos valores de EMA, EMAX e RQEM.

No ano de 2021, observa-se que se manteve a queda no desempenho dos métodos, entretanto, todos os métodos com exceção do método de PT, apresentaram

desempenho classificado como “Péssimo” e queda abrupta nos valores de R^2 , e aumentos nos valores de EMA, EMAX e RQEM.

Já nos anos de 2022 e 2023, é possível observar uma melhora como um todo do desempenho dos métodos em relação aos anos anteriores.

O método de PT, manteve seu destaque sendo classificado como “Ótimo” e apresentando os maiores valores de R^2 , e menores valores de erros em relação aos demais métodos. O método de AB, que foi classificado como “Bom” em 2022, teve melhora do seu desempenho em 2023, passando a ser classificado como “Muito bom”. Comportamento semelhante ao método de AB, o método de IR apresentou a mesma melhora no seu desempenho em relação ao ano de 2022 e 2023.

Outro método que se destacou foi o método de BL, tendo apresentado desempenho “Muito bom” no ano de 2022, e no ano de 2023 tendo sido classificado como “Ótimo”, sendo o único método além do método de PT, a ter atingido essa classificação em seu desempenho.

O método de HS, conseguiu manter nos anos de 2022 e 2023 o desempenho de “Muito bom”, tendo reduzido os valores de erros em relação aos anos anteriores, e apresentando melhora em seu R^2 .

Embora o desempenho do método de MK tenha sido melhor que no ano de 2021, o método apresentou resultados mais satisfatórios nos anos de 2019 e 2020, tendo sido classificado como “Mediano” em 2022, entretanto, o método apresentou melhora no ano de 2023, passando a ser classificado como “Bom”, tendo apresentado no referido ano o maior valor de R^2 em relação aos demais anos

Tabela 3 - Análise de desempenho para o mês de “Fevereiro” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Fevereiro/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	81,86	1,52	0,54	0,73	0,89	0,80	Muito bom
BL	81,79	1,83	0,74	0,86	0,86	0,78	Muito bom
HS	85,11	2,02	1,24	1,11	0,75	0,70	Bom
IR	85,44	1,78	0,56	0,74	0,85	0,79	Muito bom
JH	74,94	4,15	1,61	1,26	0,50	0,43	Mau
MK	81,88	2,06	1,12	1,05	0,75	0,68	Bom
PT	96,64	0,95	0,21	0,45	0,98	0,96	Ótimo
Fevereiro/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	76,9	1,38	0,54	0,73	0,85	0,75	Muito bom
BL	74,61	1,96	0,67	0,81	0,81	0,70	Bom
HS	83,02	1,73	1,01	1,00	0,77	0,70	Bom
IR	81,65	1,51	0,59	0,76	0,80	0,72	Bom
JH	54,31	3,6	1,82	1,35	0,47	0,34	Péssimo
MK	76,84	2	0,99	0,99	0,74	0,65	Bom
PT	98,54	0,48	0,21	0,45	0,98	0,98	Ótimo
Fevereiro/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	83,24	1,54	0,53	0,71	0,85	0,78	Muito bom
BL	78,75	1,30	0,43	0,65	0,89	0,79	Muito bom
HS	84,14	2,00	0,93	0,96	0,77	0,71	Bom
IR	87,37	1,58	0,62	0,78	0,79	0,74	Muito bom
JH	43,53	3,32	1,13	1,06	0,51	0,33	Péssimo

MK	83,19	2,25	0,85	0,92	0,76	0,69	Bom
PT	93,58	0,82	0,25	0,50	0,97	0,94	Ótimo
Fevereiro/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	73,90	1,49	0,56	0,74	0,81	0,70	Bom
BL	70,94	1,49	0,63	0,79	0,83	0,70	Bom
HS	78,59	2,09	1,05	1,02	0,73	0,64	Mediano
IR	80,32	1,49	0,61	0,78	0,77	0,69	Bom
JH	51,15	3,41	1,26	1,12	0,49	0,35	Péssimo
MK	73,78	2,23	0,92	0,95	0,70	0,60	Sofrível
PT	97,63	0,56	0,26	0,51	0,98	0,97	Ótimo
Fevereiro/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	47,43	0,98	0,47	0,69	0,72	0,50	Sofrível
BL	51,46	1,32	0,41	0,64	0,79	0,57	Sofrível
HS	60,45	1,81	0,85	0,92	0,62	0,49	Mau
IR	53,36	0,9	0,47	0,68	0,69	0,50	Mau
JH	42,28	2,77	1,21	1,10	0,42	0,28	Péssimo
MK	47,29	1,68	0,77	0,87	0,58	0,40	Péssimo
PT	89,50	0,68	0,28	0,53	0,94	0,89	Ótimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O método de PT apresentou o melhor desempenho dentre os métodos sendo classificado como ótimo, sendo classificado como “Ótimo”, em todos os anos em avaliação, apresentando os maiores valores de R² e menores valores de EMAX, EMA e RQEM.

Os demais métodos, apresentaram uma variação no seu desempenho em relação aos anos.

No ano de 2019, os métodos de AB, BL e IR, tiveram seu desempenho classificado como “Muito bom”, com R^2 variando entre 81,86 a 85,44%. Embora os comportamentos dos métodos tenham obtido a mesma classificação, é possível observar que os métodos de BL e IR, apresentaram os maiores valores de EMAX (1,83 e 1,78) entre os métodos nessa classificação. O método de BL ainda apresenta os mais elevados valores de EMA e RQEM (0,74 e 0,86).

Os métodos de HS e MK tiveram sua classificação como “Bom”, sendo o método de HS com maior R^2 (85,11%) em relação ao método de MK. Analisando os valores dos erros, ambos métodos apresentaram valores próximos de EMAX, EMA e RQEM, mostrando um comportamento semelhante entre os erros.

Em 2020, o comportamento dos métodos manteve-se de forma semelhante AB manteve seu desempenho como “Muito bom”, e os métodos de MK e HS mantiveram-se classificados como “Bom”. Entretanto, os métodos de BL e IR, apresentaram queda em seu desempenho, passando a ser classificado como “Bom”.

Dentre os métodos classificados como “Bom”, os métodos de MK e BL apresentaram os maiores valores de EMAX (2,00 e 1,96, respectivamente), enquanto o de IR apresentou o menor valor (1,51). Dentre os valores de EMA e RQEM, os métodos de MK e HS, apresentaram valores bastantes próximos, sendo estes os mais elevados entre os métodos nessa classificação, enquanto os métodos de IR e BL, apresentaram os menores valores respectivamente.

Contrariando o que foi observado em Janeiro de 2021, em Fevereiro de 2021, os métodos não apresentaram uma queda abrupta em seu desempenho. Tendo o método de AB, mantido sua classificação como “Muito bom”, e podendo ser observado que os métodos de BL e IR obtiveram um melhor desempenho em relação a 2020, sendo também classificados como “Muito bom”.

Embora o método de BL tenha apresentado o menor valor de R^2 (78,75%) em relação a AB e IR (83,24 e 87,37%, respectivamente) se destaca por apresentar respectivamente os menores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,30; 0,43 e 0,65), enquanto o método de IR apresentou os valores mais elevados (1,58; 0,62 e 0,78).

No ano de 2022, já é possível observar uma queda no desempenho dos métodos. Os métodos de AB, BL e IR que haviam sido classificados como “Muito bom” em 2021, passaram a apresentar desempenho classificado como “Bom” em 2022. Os métodos apresentaram conjuntamente uma queda em seu R^2 , todavia, o método de IR manteve o maior valor (80,32%). Analisando os valores de EMAX, EMA e RQEM,

pode ser observado que os métodos apresentaram um comportamento semelhante, apresentando o mesmo valor de EMA para todos (1,49) e valores próximos de EMAX e RQEM.

Em 2023, mantendo a tendência de queda no desempenho conforme observado em 2022, sendo nesse ano observado no geral, uma piora significativa no desempenho de todos os métodos, com exceção do método de PT.

Os métodos de AB e BL passaram a ser classificados como “Sofrível”, tendo o método de AB os maiores valores de EMA e RQEM (0,47 e 0,69, respectivamente) em relação ao método de BL.

Os métodos de HS e IR passaram a ser classificados como “Mau”, embora o método de HS tenha apresentado um valor elevado de R^2 (60,45%) em relação a IR (53,35%), o método de HS apresentou os maiores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,81; 0,85 e 0,92, respectivamente). A maior queda em desempenho é observada pelo método de MK, que passou a ser classificado como “Péssimo”.

Tabela 4 - Análise de desempenho para o mês de “Março” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Março/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	71,10	0,88	0,31	0,56	0,85	0,71	Bom
BL	64,40	1,53	0,85	0,92	0,63	0,51	Sufrível
HS	64,15	2,01	0,99	0,99	0,59	0,47	Mau
IR	69,61	0,9	0,31	0,56	0,80	0,67	Bom
JH	29,34	2,97	1,65	1,28	0,37	0,20	Péssimo
MK	71,08	1,39	0,74	0,86	0,65	0,54	Sufrível
PT	91,50	0,57	0,21	0,46	0,96	0,85	Ótimo
Março/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	50,27	1,36	0,41	0,64	0,78	0,55	Sufrível
BL	13,42	2,12	0,66	0,81	0,52	0,19	Péssimo
HS	33,20	2,53	0,96	0,98	0,52	0,30	Péssimo
IR	44,68	1,40	0,49	0,70	0,67	0,44	Mau
JH	0,06	3,00	1,10	1,05	0,41	0,03	Péssimo
MK	50,19	2,21	0,74	0,86	0,63	0,45	Mau
PT	90,19	0,67	0,22	0,47	0,96	0,91	Ótimo
Março/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	60,53	2,58	0,44	0,66	0,74	0,43	Mau
BL	49,57	1,73	0,84	0,91	0,65	0,46	Mau
HS	65,83	2,04	1,09	1,09	0,61	0,49	Mau
IR	60,23	1,10	0,39	0,62	0,80	0,62	Mediano

JH	14,5	3,35	1,51	1,22	0,40	0,15	Péssimo
MK	34,87	4	0,91	0,95	0,56	0,33	Péssimo
PT	88,10	0,94	0,51	0,71	0,90	0,86	Muito bom
Março/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	66,82	1,33	0,49	0,66	0,74	0,60	Sufrível
BL	49,82	1,86	0,84	0,92	0,62	0,43	Mau
HS	53,81	1,65	0,78	1,04	0,62	0,46	Mau
IR	64,21	1,34	0,49	0,62	0,70	0,56	Sufrível
JH	11,70	2,70	1,32	1,23	0,42	0,15	Péssimo
MK	66,72	1,16	0,54	0,95	0,75	0,62	Mediano
PT	81,69	1,22	0,22	0,71	0,94	0,85	Muito bom
Março/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	75,39	1,03	0,38	0,62	0,80	0,70	Bom
BL	47,41	1,68	0,81	0,90	0,56	0,39	Péssimo
HS	69,54	1,85	0,89	0,94	0,58	0,47	Mau
IR	78,30	1,15	0,39	0,62	0,75	0,66	Mediano
JH	30,2	3,26	1,54	1,24	0,36	0,20	Péssimo
MK	75,54	1,73	0,69	0,83	0,65	0,57	Sufrível
PT	91,06	0,48	0,23	0,48	0,96	0,91	Ótimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

No mês de março, em todos os anos de avaliação, o método de PT se manteve como o que obteve o melhor desempenho em relação aos demais, sendo observado apenas em 2022, uma queda do seu desempenho de “Ótimo” para “Muito bom”.

Pode ser observado que assim como ocorreu para o mês de Fevereiro, ocorreu uma variação no desempenho dos métodos, sendo para o mês de Março, uma tendência mais forte na queda do desempenho.

Em 2019, os métodos de AB e IR obtiveram o desempenho classificado como “Bom”. Uma queda acentuada pode ser observada nos métodos de BL e MK, que em Fevereiro/2019, apresentaram desempenho como “Muito bom” e “Bom”, respectivamente, tendo um desempenho classificado como “Sofrível” no mês de Março/2019. Dentre esses métodos, o método de MK, apresentou o maior valor de R^2 (71,08%) e menores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,39; 0,74 e 0,86), enquanto o método de BL apresentou o menor valor de R^2 (64,40) e maiores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,53; 0,85; 0,92).

O método de HS dentre os métodos em estudo, foi o que apresentou a maior queda em desempenho no referido ano, tendo o menor R^2 (64,15%) e apresentado elevados valores de EMAX, EMA e RQEM em relação aos métodos de AB, BL, IR, MK e PT, tendo desempenho melhor que o método de JH.

No ano de 2020, 2021 e 2022, é possível observar que segue um cenário de queda para os métodos.

Em 2020, o método de AB, passou a ser classificado como “Sofrível”. Os métodos de MK e IR, passaram ambos a serem classificados “Mau”, tendo o método de IR apresentando o menor valor de R^2 (44,68%), apresentando valores menos elevados de EMAX, EMA e RQEM (1,40; 0,89 e 0,70), em relação ao de MK, que apresentou um valor mais elevado de R^2 (50,19%). Os métodos que obtiveram o pior desempenho foram os de BL, HS e JH, tendo sido classificados como “Péssimo”, apresentando os menores valores do índice “d” e índice “c”. O método de HS apresentou o maior valor de R^2 (33,20%), entretanto, apresentou elevados índices de EMAX, EMA e RQEM em relação ao método de BL, que apresentou os menores valores para as respectivas variáveis quando comparado com HS e JH.

O desempenho seguiu com uma piora em 2021, sendo o único método além de PT com um desempenho considerado não “Mau” ou “Péssimo” o método de IR, que apresentou desempenho satisfatório. O método de AB prosseguiu com a queda passando a ser classificado como “Mau”, conjuntamente com os métodos de BL e HS. Dentre esses métodos, o método de BL apresentou o menor R^2 (49,57), enquanto o método de HS apresentou o maior R^2 (65,83%), entretanto o método de BL, foi o que apresentou os menores valores de EMAX e EMA, tendo sido observado o menor

valor de RQEM para o método de AB (0,66). O método de MK seguiu em queda no desempenho, passando a ser classificado como “Péssimo”, conjuntamente com o método de JH.

No ano de 2022, é observado uma pequena melhoria no desempenho de alguns métodos. Dentre os métodos que apresentaram melhoria em seu desempenho, se destaca o de MK, que passou a ser classificado como “Mediano”, apresentando uma melhoria em seu R^2 (66,72%) e diminuição nos valores de EMAX, EMA e RQEM em relação ao ano de 2021. O método de AB e IR passam a ser classificados como “Sofrível”, é observado um comportamento semelhante entre esses métodos, apresentando valores próximos de R^2 (66,82 e 64,21%, respectivamente), sendo observado o mesmo padrão de comportamento para EMAX, EMA e RQEM.

Em 2023, com exceção do método de PT, que passou a apresentar o desempenho classificado como “Ótimo”, do método de AB que passou a ser classificado como “Bom” e do método de IR que passou ser classificado como “Mediano”, os demais métodos tiveram queda em seu desempenho. O método de MK, que no ano de 2022 havia apresentado uma melhora em seu desempenho, passou a ser classificado como “Sofrível”, todavia, é notado que o valor de R^2 , apresentou uma melhoria (75,54%), entretanto, ocorreu um aumento nos valores de EMAX, EMA e RQEM (1,73; 0,69 e 0,83) em relação ao ano anterior. Os métodos de HS e JH, seguiram sem mudança no seu desempenho.

Tabela 5 - Análise de desempenho para o mês de “Abril” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Abril/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	54,06	0,88	0,41	0,64	0,81	0,60	Sufrível
BL	54,19	2,35	1,27	1,13	0,49	0,35	Péssimo
HS	63,44	1,89	1,18	1,09	0,58	0,41	Mau
IR	69,65	1,13	0,40	0,63	0,77	0,64	Mediano
JH	19,74	3,92	2,23	1,49	0,27	0,12	Péssimo
MK	54,08	1,74	0,92	0,96	0,57	0,42	Mau
PT	88,43	0,79	0,16	0,40	0,95	0,90	Ótimo
Abril/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	52,03	1,40	0,44	0,66	0,75	0,54	Sufrível
BL	61,05	1,50	0,61	0,78	0,75	0,58	Sufrível
HS	52,60	2,18	1,15	1,07	0,51	0,37	Péssimo
IR	65,15	1,46	0,38	0,62	0,77	0,62	Mediano
JH	26,87	3,75	1,71	1,31	0,35	0,18	Péssimo
MK	52,03	1,91	1,04	1,02	0,52	0,38	Péssimo
PT	85,76	0,85	0,33	0,57	0,91	0,84	Muito bom
Abril/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	44,41	1,09	0,38	0,62	0,80	0,53	Sufrível
BL	37,87	1,65	0,50	0,71	0,70	0,43	Mau
HS	36,69	1,98	0,84	0,92	0,57	0,36	Péssimo
IR	54,19	0,96	0,34	0,58	0,78	0,58	Sufrível
JH	59,85	3,07	1,52	1,23	0,36	0,11	Péssimo

MK	44,53	1,94	0,86	0,93	0,59	0,39	Péssimo
PT	28,39	0,99	0,39	0,62	0,84	0,75	Muito bom
Abril/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	33,34	1,03	0,40	0,62	0,68	0,40	Péssimo
BL	19,75	2,17	1,00	1,00	0,47	0,21	Péssimo
HS	17,29	2,15	1,03	1,01	0,39	0,16	Péssimo
IR	36,68	1,05	0,38	0,62	0,63	0,38	Péssimo
JH	1,06	3,28	1,87	1,37	0,30	0,03	Péssimo
MK	33,5	1,77	0,90	0,97	0,46	0,26	Péssimo
PT	66,70	0,87	0,30	0,55	0,87	0,72	Bom
Abril/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	48,91	2,73	0,52	0,72	0,78	0,54	Sufrível
BL	63,34	1,44	0,78	0,88	0,76	0,60	Mediano
HS	63,24	2,37	0,93	0,96	0,68	0,54	Sufrível
IR	68,05	1,60	0,56	0,75	0,77	0,64	Mediano
JH	15,83	3,92	2,19	1,48	0,40	0,16	Péssimo
MK	49,55	3,81	0,99	0,99	0,65	0,46	Mau
PT	88,85	1,12	0,24	0,49	0,96	0,91	Ótimo

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024)

No mês de Abril é observado que em um geral, ocorre a queda do desempenho de todos os métodos, com um cenário mais atenuante dessa queda no ano de 2021.

O método de PT foi o que melhor se destacou, entretanto, é possível observar uma variação em seu desempenho em relação aos anos. Nos anos de 2019 e 2023, o mesmo é classificado como “Ótimo”, enquanto nos anos de 2020 e 2021, é classificado como “Muito bom”, enquanto no ano de 2022, é classificado como “Bom”.

Analisando o desempenho dos demais métodos, nos anos de 2019 e 2020, o método de IR se destaca por ser o único a apresentar desempenho “Mediano”, entretanto, no ano de 2021, seu desempenho é classificado como “Sofrível”, chegando a ser classificado “Péssimo” em 2022, tendo uma melhora em 2023, quando o mesmo passa a ser classificado como “Mediano”.

O método de AB, se manteve classificado como “Sofrível” nos anos de 2019, 2020, 2021 e 2023, sendo observada a queda do seu desempenho para “Péssimo” em 2022.

O desempenho dos métodos de HS e MK, mantiveram-se como “Mau” no ano de 2019, tendo o método de HS maior R^2 (63,44%), entretanto, apresentou maiores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,89; 1,18; 1,09), em relação ao método de MK (1,74; 0,92; 0,96), nos anos de 2021 e 2022, ambos métodos apresentaram desempenho classificado como “Péssimo”, com maiores valores de EMA, EMA e RQEM para o método de HS. Entretanto, no ano de 2023, o método de HS apresentou melhora em seu desempenho passando a ser classificado como “Sofrível”, e apresentando uma redução nos valores de EMA, EMAX e RQEM, enquanto o método de MK, apresentou classificação como “Mau” e maiores valores de EMA, EMAX e RQEM em relação ao método de HS.

O método de IR, embora tenha apresentado desempenho “Mediano” nos anos de 2019 e 2020, é observada uma queda no seu desempenho nos anos de 2021 e 2022, tendo classificação como “Sofrível” e “Péssimo”, respectivamente. No ano de 2022. Embora no ano de 2023, o método tenha voltado a apresentar desempenho “Mediano”, foi o ano que o método apresentou os valores mais elevados de EMAX, EMA e RQEM (1,60; 0,56 e 0,75).

Tabela 6 - Análise de desempenho para o mês de “Maio” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Maio/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	2,25	1,57	0,11	0,33	0,31	0,05	Péssimo
BL	42,62	2,29	1,13	1,06	0,40	0,26	Péssimo
HS	2,34	2,23	1,01	1,00	0,32	0,04	Péssimo
IR	16,27	1,23	0,52	0,72	0,50	0,20	Péssimo
JH	37,83	3,19	2,52	1,59	0,20	0,12	Péssimo
MK	2,46	2,37	1,03	1,01	0,27	0,04	Péssimo
PT	54,10	0,93	0,32	0,57	0,72	0,53	Sufrível
Maio/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	38,54	1,80	0,69	0,83	0,64	0,40	Péssimo
BL	46,83	1,59	0,59	0,77	0,76	0,52	Sufrível
HS	42,18	1,95	1,02	1,01	0,54	0,35	Péssimo
IR	55,16	1,34	0,48	0,69	0,74	0,55	Sufrível
JH	25,70	3,8	2,12	1,46	0,32	0,16	Péssimo
MK	38,47	2,57	1,34	1,16	0,46	0,28	Péssimo
PT	78,54	1,17	0,53	0,73	0,76	0,67	Bom
Maio/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	14,68	1,29	0,62	0,79	0,50	0,19	Péssimo
BL	53,86	1,55	0,67	0,82	0,65	0,48	Mau
HS	27,08	1,81	0,96	0,98	0,42	0,22	Péssimo
IR	45,53	1,15	0,45	0,67	0,64	0,38	Péssimo
JH	39,40	3,45	2,07	1,44	0,28	0,17	Péssimo

MK	14,68	2,07	1,19	1,09	0,34	0,13	Péssimo
PT	61,46	1,68	0,76	0,87	0,61	0,48	Mau
Maio/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	7,80	1,57	0,67	0,82	0,50	0,14	Péssimo
BL	33,43	2,21	0,90	0,95	0,60	0,35	Péssimo
HS	17,7	1,78	0,97	0,98	0,47	0,20	Péssimo
IR	28,65	1,15	0,53	0,73	0,65	0,34	Péssimo
JH	21,97	3,53	2,22	1,49	0,29	0,13	Péssimo
MK	7,71	2,30	1,22	1,10	0,38	0,10	Péssimo
PT	57,14	1,31	0,39	0,62	0,74	0,56	Sofrível
Maio/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	32,58	1,37	0,76	0,87	0,46	0,26	Péssimo
BL	6,10	1,81	0,78	0,88	0,35	0,09	Péssimo
HS	35,34	1,80	1,19	1,09	0,32	0,19	Péssimo
IR	29,59	1,12	0,61	0,78	0,48	0,26	Péssimo
JH	0,07	3,72	2,40	1,55	0,77	0,004	Péssimo
MK	32,65	2,14	1,40	1,18	0,28	0,16	Péssimo
PT	34,39	1,05	0,43	0,66	0,65	0,38	Péssimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Tabela 7 - Análise de desempenho para o mês de “Junho” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Junho/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	19,63	1,24	0,60	0,77	0,48	0,21	Péssimo
BL	26,57	1,65	0,88	0,94	0,45	0,23	Péssimo
HS	26,74	1,32	0,78	0,88	0,44	0,23	Péssimo
IR	29,24	1,12	0,52	0,72	0,52	0,28	Péssimo
JH	10,27	3,75	2,42	1,56	0,19	0,06	Péssimo
MK	19,38	1,88	1,17	1,08	0,31	0,14	Péssimo
PT	54,87	1,43	0,68	0,82	0,53	0,40	Péssimo
Junho/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	15,85	1,60	0,53	0,73	0,59	0,23	Péssimo
BL	23,18	1,69	0,86	0,93	0,50	0,24	Péssimo
HS	27,81	1,48	0,61	0,78	0,60	0,31	Péssimo
IR	27,66	1,13	0,49	0,70	0,59	0,31	Péssimo
JH	0,086	3,72	2,36	1,54	0,27	0,08	Péssimo
MK	16,06	2,33	0,88	0,94	0,45	0,18	Péssimo
PT	56,62	1,73	0,75	0,87	0,59	0,45	Mau
Junho/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	27,22	1,60	0,53	0,73	0,61	0,29	Péssimo
BL	33,47	1,84	0,81	0,90	0,57	0,33	Péssimo
HS	38,56	1,48	0,60	0,77	0,63	0,39	Péssimo
IR	40,10	1,13	0,45	0,67	0,67	0,43	Mau
JH	18,13	3,72	2,23	1,49	0,26	0,11	Péssimo

MK	22,28	2,33	0,97	0,98	0,44	0,21	Péssimo
PT	53,80	1,73	0,75	0,87	0,58	0,42	Mau
Junho/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	27,16	1,52	0,61	0,78	0,59	0,31	Péssimo
BL	18,42	1,75	0,85	0,92	0,51	0,22	Péssimo
HS	32,75	1,70	0,69	0,83	0,58	0,33	Péssimo
IR	36,73	1,26	0,54	0,73	0,61	0,37	Péssimo
JH	6,05	3,52	2,50	1,58	0,25	0,06	Péssimo
MK	27,07	2,21	1,12	1,06	0,43	0,22	Péssimo
PT	54,14	1,3	0,55	0,74	0,61	0,45	Mau
Junho/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	75,20	1,31	0,79	0,89	0,64	0,56	Sufrível
BL	66,08	1,24	0,58	0,76	0,73	0,59	Sufrível
HS	79,51	1,54	0,88	0,94	0,62	0,55	Sufrível
IR	84,33	1,05	0,63	0,79	0,71	0,65	Bom
JH	32,64	4,05	2,59	1,61	0,22	0,13	Péssimo
MK	75,20	1,94	1,36	1,17	0,45	0,39	Péssimo
PT	80,57	0,83	0,34	0,58	0,84	0,75	Muito bom

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Tabela 8 - Análise de desempenho para o mês de “Julho” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Julho/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	5,89	1,73	0,73	0,85	0,48	0,11	Péssimo
BL	16,73	1,90	0,75	0,87	0,52	0,23	Péssimo
HS	5,19	1,68	0,64	0,80	0,50	0,11	Péssimo
IR	14,38	1,33	0,49	0,70	0,57	0,21	Péssimo
JH	9,70	3,38	2,05	1,43	0,28	0,08	Péssimo
MK	60,16	2,48	1,33	1,15	0,35	0,08	Péssimo
PT	36,32	1,69	0,76	0,87	0,54	0,32	Péssimo
Julho/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	0,50	1,22	0,58	0,76	0,41	0,02	Péssimo
BL	13,91	1,87	0,73	0,85	0,48	0,18	Péssimo
HS	0,16	1,35	0,60	0,77	0,37	0,014	Péssimo
IR	5,58	1,24	0,45	0,67	0,48	0,11	Péssimo
JH	10,91	2,81	1,97	1,40	0,25	0,08	Péssimo
MK	0,52	1,83	1,15	1,07	0,31	0,02	Péssimo
PT	24,77	2,02	0,92	0,96	0,41	0,20	Péssimo
Julho/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	33,47	1,52	0,66	0,81	0,61	0,35	Péssimo
BL	15,05	2,18	0,71	0,84	0,55	0,21	Péssimo
HS	32,40	1,22	0,58	0,76	0,64	0,37	Péssimo
IR	44,21	0,94	0,42	0,65	0,73	0,48	Mau
JH	4,32	3,50	1,94	1,39	0,28	0,05	Péssimo

MK	33,40	2,28	1,25	1,12	0,42	0,24	Péssimo
PT	35,58	2,25	0,92	0,96	0,48	0,28	Péssimo
Julho/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	0,06	1,69	0,72	0,85	0,39	0,009	Péssimo
BL	1,18	2,12	0,89	0,94	0,36	0,04	Péssimo
HS	0,95	1,50	0,70	0,84	0,39	0,03	Péssimo
IR	0,22	1,41	0,57	0,75	0,43	0,02	Péssimo
JH	1,44	3,05	2,15	1,47	0,23	0,02	Péssimo
MK	0,10	2,46	1,39	1,18	0,29	0,009	Péssimo
PT	0,17	1,98	0,79	0,89	0,39	0,016	Péssimo
Julho/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	6,10	1,38	0,72	0,85	0,35	0,08	Péssimo
BL	20,71	2,04	0,74	0,86	0,55	0,25	Péssimo
HS	1,50	1,36	0,72	0,85	0,38	0,04	Péssimo
IR	0,95	1,15	0,59	0,77	0,45	0,04	Péssimo
JH	20,34	2,92	2,18	1,48	0,30	0,13	Péssimo
MK	5,95	2,13	1,26	1,12	0,33	0,08	Péssimo
PT	21,64	2,14	0,65	0,81	0,53	0,24	Péssimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os meses de Maio, Junho e Julho para todos os anos em avaliação são caracterizados pela continua queda do desempenho dos métodos em todos os anos de avaliação.

Embora seja observado que o método de PT, que havia se destacado nos meses anteriores, ele ainda consegue manter uma classificação superior em relação aos demais em alguns anos. No mês de Maio, para os anos de 2019, 2020, 2021 e 2022,

o método ficou classificado como “Sofrível”, “Bom”, “Mau” e “Sofrível”. Apenas no ano de 2023, que o método de PT apresentou desempenho classificado como “Péssimo”, conjuntamente com todos os outros.

O método de BL, ainda conseguiu um destaque nos anos de 2020 e 2021, tendo apresentado desempenho como “Sofrível”, para os respectivos anos.

No mês de Junho, todos os métodos apresentaram desempenho classificado como “Mau” ou “Sofrível” para todos os anos em estudo. Entretanto, no ano de 2023, é observada uma melhora no desempenho dos métodos. O método de PT, apresentou o melhor desempenho, sendo classificado como “Muito bom”, tendo apresentado o menor valor EMAX, EMA e RQEM (0,83; 0,34; 0,58). O método de IR teve classificação como “Bom”, tendo apresentado o maior valor de R^2 (84,33%), superior inclusive ao de PT (80,57%), entretanto, quando se compara os valores de EMAX, EMA e RQEM, o método de IR apresenta valores mais elevados (1,05; 0,63; 0,79).

Os métodos de AB, BL e HS, apresentaram desempenho classificado como “Sofrível”. Analisando os valores de R^2 , o método de HS, apresentou o maior em relação aos métodos de AB e BL (75,20% e 66,08%), respectivamente. Porém, o método de BL, apresentou os menores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,24; 0,58; 0,76) em relação aos métodos de HS e AB, respectivamente.

O mês de Julho, para todos os anos em avaliação apresentou o pior desempenho para todos os métodos em estudo, tendo todos os métodos apresentado desempenho classificado como “Péssimo”. O único método que apresentou desempenho diferente do “Péssimo”, foi o método de IR no ano de 2021, que apresentou desempenho classificado como “Mau”.

Tabela 9 - Análise de desempenho para o mês de “Agosto” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Agosto/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	62,67	1,62	0,52	0,72	0,85	0,67	Mediano
BL	41,57	1,67	0,67	0,82	0,78	0,50	Sufrível
HS	16,51	2,71	0,83	0,91	0,63	0,25	Péssimo
IR	59,84	1,39	0,48	0,69	0,83	0,64	Mediano
JH	31,67	3,24	1,47	1,21	0,42	0,24	Péssimo
MK	62,62	2,42	1,10	1,05	0,68	0,54	Sufrível
PT	81,53	2,07	0,99	0,99	0,72	0,65	Mediano
Agosto/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	24,95	1,29	0,59	0,77	0,67	0,33	Péssimo
BL	35,96	1,74	0,68	0,81	0,76	0,46	Mau
HS	0,43	3,21	0,79	0,89	0,35	0,02	Péssimo
IR	40,49	1,19	0,51	0,71	0,72	0,46	Mau
JH	29,99	2,94	1,11	1,05	0,49	0,26	Péssimo
MK	24,86	2,32	1,08	1,04	0,54	0,27	Péssimo
PT	46,68	2,41	1,27	1,13	0,56	0,46	Mau
Agosto/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	23,79	1,66	0,55	0,74	0,66	0,32	Péssimo
BL	42,54	1,70	0,65	0,81	0,75	0,49	Mau
HS	1,64	4,01	0,77	0,88	0,31	0,04	Péssimo
IR	34,94	1,71	0,53	0,73	0,69	0,41	Mau
JH	39,08	2,13	1,11	1,05	0,50	0,31	Péssimo

MK	23,67	2,07	0,93	0,96	0,55	0,27	Péssimo
PT	55,95	2,5	1,50	1,22	0,47	0,35	Péssimo
Agosto/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	41,98	2,16	0,60	0,77	0,76	0,50	Sofrível
BL	21,22	1,80	1,01	1,00	0,66	0,30	Péssimo
HS	1,15	3,62	1,06	1,03	0,37	0,04	Péssimo
IR	38,68	2,19	0,61	0,78	0,72	0,45	Mau
JH	10,18	3,75	1,43	1,20	0,44	0,14	Péssimo
MK	41,93	1,87	1,01	1,00	0,66	0,43	Péssimo
PT	57,37	2,97	1,17	1,08	0,61	0,46	Péssimo
Agosto/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	38,33	1,49	0,61	0,78	0,72	0,45	Mau
BL	64,77	1,94	0,73	0,85	0,77	0,63	Mediano
HS	2,57	2,29	0,91	0,95	0,48	0,07	Péssimo
IR	51,79	1,25	0,52	0,72	0,77	0,55	Sofrível
JH	67,68	3,03	1,73	1,32	0,42	0,35	Péssimo
MK	38,27	2,26	1,07	1,03	0,58	0,36	Péssimo
PT	48,75	1,98	0,86	0,93	0,62	0,43	Mau

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O mês de Agosto/2019 começa apresentando uma melhoria em relação aos meses anteriores. Tendo o melhor desempenho sendo observado nos métodos de AB, IR e PT. Analisando o R², pode ser observado que o método de PT apresenta o maior valor (81,53%) em relação aos métodos de AB e IR (62,67%; 59,84%) respectivamente. Todavia, pela análise de EMA, EMAX e RQEM, é notado que o método de PT, apresentou os maiores valores (2,07; 0,99; 0,99) em relação aos

métodos de AB e IR tendo o método de IR apresentando os menores valores para as respectivas variáveis.

Os métodos de BL e MK, foram classificados como “Sofrível”, apresentando uma melhora em seu desempenho em relação ao mês de Julho/2019. O método de MK, se destaca por apresentar o maior valor de R^2 (62,62%) em relação ao método de BL (41,57%), porém, o método de MK apresenta maiores valores de EMA, EMAX e RQEM (2,42; 1,10; 1,05) em relação ao método de BL (1,67; 0,67; 0,82).

O pior desempenho foi obtido pelos métodos de HS e JH, tendo destaque para o método de JH, por apresentar os maiores valores de EMA, EMAX e RQEM em relação ao método de HS, como os maiores valores para as respectivas variáveis em relação aos outros métodos.

O ano de 2020, apresentou uma queda geral no desempenho dos métodos em relação ao ano de 2019. Todos os métodos foram classificados como “Mau” ou “Péssimo”.

Os métodos de BL, IR e PT, apresentaram classificação como “Mau”, dentre esses métodos, o método de PT apresentou o maior R^2 (46,68%), porém, apresentou os maiores valores de EMA, EMAX e EMA (2,41; 1,27; 1,13), em relação aos demais métodos dessa classificação. Dentre os métodos dessa classificação, o método de IR, foi o que melhor correspondeu, pois embora tenha apresentado um R^2 menor que o método de PT, apresentou os menores valores de EMA, EMAX e RQEM em relação aos outros métodos.

Os métodos de AB, HS, JH e MK, foram os que apresentaram o pior desempenho para o referido ano, tendo sido classificados como “Péssimo”. Dentre esses métodos, o pior desempenho pode ser atribuído aos métodos de HS e JH. Pois, embora o método de JH tenha apresentado um elevado R^2 (29,99%) em relação ao método de HS apresenta os mais elevados valores de EMA e RQEM (1,11; 1,05), e em seguida o de HS, por apresentar o menor valor de R^2 (0,43) e o valor mais elevado de EMAX (3,21).

Seguindo com um cenário de baixo desempenho, no ano de 2021, é possível observar que os métodos de BL e IR mantiveram a classificação em seu desempenho, enquanto o método de PT passa a ser classificado como “Péssimo”.

É observado que o método de HS, assim como em 2020, apresentou o menor valor de R^2 (1,64%) e um elevado valor de EMAX (4,01), conjuntamente com ele, o método de JH, que apresentou os maiores valores de EMA e RQEM (1,11; 1,05).

No ano de 2022, o método de AB apresentou uma melhoria em seu desempenho, saindo da classificação de “Péssimo” para “Sofrível”, e o método de IR, manteve seu desempenho classificado como “Mau”. Outro método que apresentou queda em seu desempenho, foi o método de BL, que passou a ser classificado como “Péssimo”.

Para o ano de 2023, pode ser observado uma queda no desempenho de AB para “Mau”, e uma melhoria no desempenho dos métodos de BL, IR e PT, que passaram a obter classificação como “Mediano”, “Sofrível” e “Péssimo”, respectivamente.

Dentre os métodos classificados como “Mau”, o método de PT embora tenha apresentado elevado R^2 (48,75%), apresenta elevados valores de EMAX, EMA e RQEM (1,98; 0,86; 0,93) quando comparado com o método de AB, mostrando assim, uma inconsistência no desempenho do referido método para o mês de Agosto.

Tabela 10 - Análise de desempenho para o mês de “Setembro” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Setembro/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	54,27	2,8	0,72	0,85	0,76	0,56	Sofrível
BL	34,71	2,18	1,09	1,04	0,71	0,42	Mau
HS	46,05	2,78	0,73	0,85	0,79	0,54	Sofrível
IR	53,01	3,08	0,83	0,91	0,71	0,52	Sofrível
JH	24,56	3,73	0,91	0,95	0,40	0,20	Péssimo
MK	54,25	2,20	0,90	0,95	0,75	0,59	Sofrível
PT	63,86	2,99	1,26	1,12	0,70	0,56	Sofrível
Setembro/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	42,24	1,9	0,67	0,82	0,75	0,49	Mau
BL	39,80	3,59	1,13	1,06	0,67	0,42	Mau
HS	38,06	2,1	0,88	0,94	0,72	0,44	Mau
IR	50,70	1,85	0,64	0,80	0,75	0,53	Sofrível
JH	45,22	3,29	0,96	0,98	0,54	0,36	Péssimo
MK	42,48	2,8	1,24	1,11	0,61	0,40	Mau
PT	74,98	2,50	1,26	1,12	0,66	0,57	Sofrível
Setembro/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	3,50	3,67	0,86	0,93	0,50	0,09	Péssimo
BL	16,65	3,07	1,30	1,14	0,51	0,21	Péssimo
HS	1,35	3,76	0,85	0,92	0,47	0,05	Péssimo
IR	8,34	3,77	0,88	0,94	0,53	0,15	Péssimo
JH	10,36	2,43	0,83	0,91	0,43	0,13	Péssimo

MK	3,45	2,83	0,99	0,99	0,47	0,08	Péssimo
PT	29,88	3,83	1,86	1,36	0,47	0,26	Péssimo
Setembro/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	60,16	1,85	0,62	0,79	0,84	0,65	Bom
BL	47,59	2,21	0,76	0,87	0,82	0,57	Sufrível
HS	61,02	2,08	0,62	0,79	0,87	0,69	Bom
IR	61,69	2,30	0,69	0,83	0,78	0,61	Mediano
JH	15,66	3,91	1,12	1,06	0,47	0,19	Péssimo
MK	60,12	2,24	0,83	0,91	0,78	0,61	Mediano
PT	73,29	2,58	1,16	1,08	0,71	0,61	Mediano
Setembro/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	31,19	1,49	0,60	0,77	0,71	0,40	Péssimo
BL	28,61	2,96	1,16	1,08	0,52	0,27	Péssimo
HS	37,04	1,82	0,55	0,74	0,76	0,46	Mau
IR	38,68	1,57	0,55	0,74	0,72	0,45	Mau
JH	18,58	3,15	0,93	0,96	0,48	0,20	Péssimo
MK	31,00	2,13	0,82	0,91	0,63	0,35	Péssimo
PT	56,84	2,18	0,91	0,95	0,66	0,49	Mau

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O mês de Setembro é classificado como um mês também de baixo desempenho dos métodos em estudo. Com exceção do método de HS e AB no ano de 2022 apresentaram desempenho satisfatório.

No ano de 2019, os métodos obtiveram classificaram desempenho como “Sufrível”, “Mau” e “Péssimo”.

Os métodos de AB, HS, IR, MK e PT, foram classificados como “Sofrível”, representando uma queda no desempenho para os métodos de AB, IR e PT, que em Agosto/2019, haviam sido classificados como “Mediano”. Entretanto, uma mudança relativamente positiva para o método de HS, que passou a ser classificado como “Sofrível”, visto que em Agosto, ele havia sido classificado como “Péssimo”. Para o método de MK, o desempenho se manteve o mesmo.

Dentre esses métodos, o método de PT apresentou o R^2 mais elevado (63,86%), enquanto o método de HS apresentou o menor valor (46,05%). Avaliando os valores de EMAX, o método de IR apresentou o valor mais elevado (3,08), enquanto o menor foi observado pelo método de MK (2,20), o método de PT, embora tenha apresentado o maior valor de R^2 , apresenta um elevado valor de EMAX (2,99) e os valores mais elevados de EMA e RQEM (1,26; 1,12).

Os métodos de JH e BL, apresentaram o pior desempenho entre os métodos para Setembro/2019, respectivamente. O método de BL, que em Agosto/2019 fora classificado como “Sofrível”, apresentou o desempenho classificado como “Mau”, e o de JH manteve o desempenho classificado como “Péssimo”.

Em Setembro/2020, o comportamento dos métodos foi semelhante ao observado em Agosto/2020. De forma geral, os métodos tiveram um desempenho classificado como “Mau” ou “Péssimo”, porém, diferentemente do que é observado em Agosto/2020, os métodos de IR e PT apresentaram classificado como “Sofrível”.

O método de PT apresentou o valor mais elevado de R^2 (74,98%), entretanto, quando se analisa os valores de EMAX, EMA e RQEM, o método apresenta valores mais elevado (2,50; 1,26; 1,12) em relação ao método de IR, que apresentou menores valores (1,85; 0,64; 0,80).

Os métodos de AB, BL, HS e MK, apresentaram desempenho classificado como “Mau”, que embora hierarquicamente, representa uma melhoria na classificação do seu desempenho, ainda assim, é um baixo desempenho.

Dentre os métodos classificados como “Mau”, o pior desempenho pode ser atribuído ao método de BL, que embora não tenha apresentado o menor valor de R^2 (39,80%), apresentou os maiores valores de EMAX, EMA e RQEM (3,59; 1,13; 1,06).

O ano de 2021, é marcado como o pior desempenho dos métodos em estudo para o mês de Setembro, tal comportamento também foi observado no mês de Agosto do ano de 2021, entretanto, no mês de Agosto, ainda havia ocorrido uma variação no

desempenho, tendo alguns métodos sido classificados como “Mau”, enquanto no mês de Setembro, todos os métodos obtiveram desempenho classificado como “Péssimo”

Em contrapartida com o observado em 2021, no ano de 2022, é observado em um geral, o melhor desempenho dos métodos para o mês de “Setembro”, podendo ser observado uma classificação no desempenho de “Bom”, “Mediano”, “Sofrível” e “Péssimo”.

Os métodos com o melhor desempenho, foram os de AB e HS, que apresentaram desempenho classificado como “Bom”. Os métodos apresentaram valores próximos de R^2 (60,16%; 61,02%, respectivamente) e os mesmos valores de EMA e RQEM podem ser observados para ambos os métodos, porém, quando se analisa o EMAX, o maior valor é obtido pelo método de HS.

O desempenho mediano pode ser observado nos métodos de IR, MK e PT. Analisando o R^2 , o maior valor pode ser observado no método de PT (73,29%), todavia, esse é o método que apresenta os mais elevados valores de EMAX, EMA e RQEM (2,58; 1,16; 1,08). Os métodos de IR e MK apresentam valores próximos de R^2 (61,69% e 60,12%, respectivamente), o mesmo ocorre nos valores de EMAX (2,30 e 2,24, respectivamente), entretanto, valores mais elevados de EMA e RQEM são observados no método de MK (0,83 e 0,91).

O pior desempenho para Setembro/2022, pode ser observado no método de JH, tendo apresentado o menor R^2 (15,66%) e os valores mais elevados de EMAX, EMA e RQEM (3,91; 1,12; 1,06) entre os métodos em estudo.

Diferentemente do ano de 2022, no ano de 2023 ocorre uma queda no desempenho dos métodos, passando a serem classificados como “Mau” ou “Péssimo”.

Os métodos de AB e HS, tiveram uma queda significativa em seu desempenho, pois ambos os métodos eram classificados como “Bom” em 2022, obtiveram respectivamente classificação como “Péssimo” e “Mau”.

O mesmo ocorre também com os métodos de IR, MK e PT, que haviam apresentado desempenho “Mediano” no ano anterior, e passaram a apresentar desempenho “Mau”, “Péssimo” e “Mau”, respectivamente.

Entre os métodos classificados como “Mau”, o método de PT apresenta o maior valor de R^2 (56,84%), porém, é o método que apresenta o valor mais elevado de EMAX, EMA e RQEM (2,18; 0,91; 0,95). Os métodos de HS e IR, apresentaram

valores próximos de R^2 e idênticos de EMA e RQEM, entretanto, o método de HS apresentou o valor mais elevado de EMAX.

Avaliando o desempenho dos métodos classificados como “Péssimo”, o pior comportamento pode ser observado nos métodos de JH e BL, respectivamente, pois, o método de JH apresenta o menor valor de R^2 (18,58%) e o valor mais elevado de EMAX (3,15), e o método de BL embora apresente um valor relativamente alto de R^2 (28,58%) apresenta um valor de EMAX tão elevado quanto o método de JH, e os valores mais elevados de EMA e RQEM (1,16; 1,08). O melhor comportamento entre esses métodos, pode ser observado pelo método de AB, que apresentou o valor mais elevado de R^2 (31,19%) e os menores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,49; 0,60; 0,77).

Tabela 11 - Análise de desempenho para o mês de “Outubro” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Outubro/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	D	c	Classificação
AB	42,23	2,52	0,65	0,81	0,73	0,48	Mau
BL	64,63	2,04	0,61	0,78	0,86	0,69	Bom
HS	40,78	1,81	0,78	0,88	0,74	0,47	Mau
IR	55,36	2,5	0,79	0,89	0,70	0,52	Sufrível
JH	57,74	3,49	0,74	0,86	0,48	0,36	Péssimo
MK	43,39	1,82	0,90	0,95	0,72	0,47	Mau
PT	68,04	2,93	0,86	0,93	0,76	0,63	Mediano
Outubro/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	63,15	2,97	0,63	0,79	0,81	0,64	Mediano
BL	33,91	3,55	1,14	1,07	0,68	0,39	Péssimo
HS	56,39	1,95	0,78	0,88	0,84	0,63	Mediano
IR	61,33	2,93	0,76	0,87	0,75	0,59	Sufrível
JH	25,85	2,77	0,93	0,96	0,45	0,23	Péssimo
MK	63,18	1,85	0,81	0,90	0,82	0,66	Mediano
PT	66,50	3,73	1,25	1,12	0,71	0,57	Sufrível
Outubro/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	80,30	1,62	0,62	0,79	0,89	0,80	Muito bom
BL	47,51	4,43	0,72	0,85	0,82	0,57	Sufrível
HS	78,89	2,20	0,56	0,75	0,91	0,81	Muito bom
IR	87,59	1,56	0,78	0,88	0,82	0,77	Muito bom
JH	12,60	3,63	1,17	1,08	0,45	0,16	Péssimo

MK	80,50	1,94	0,81	0,90	0,86	0,77	Muito bom
PT	71,86	3,25	0,94	0,97	0,82	0,70	Bom
Outubro/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	56,00	2,41	0,67	0,82	0,81	0,61	Mediano
BL	58,60	3,00	0,74	0,86	0,84	0,65	Mediano
HS	61,94	2,22	0,79	0,89	0,81	0,64	Mediano
IR	67,76	2,51	0,66	0,81	0,78	0,65	Mediano
JH	21,73	3,92	1,22	1,10	0,49	0,23	Péssimo
MK	56,09	2,98	1,24	1,11	0,71	0,53	Sofrível
PT	78,73	2,86	0,82	0,82	0,82	0,72	Bom
Outubro/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	64,14	1,53	0,69	0,83	0,78	0,63	Mediano
BL	59,33	2,16	0,87	0,93	0,77	0,59	Sofrível
HS	80,00	1,74	0,60	0,77	0,85	0,76	Muito bom
IR	71,87	1,52	0,72	0,85	0,74	0,63	Mediano
JH	30,07	3,12	1,21	1,10	0,50	0,27	Péssimo
MK	64,06	2,48	0,76	0,87	0,77	0,62	Mediano
PT	84,52	1,42	0,48	0,69	0,91	0,83	Muito bom

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024)

O mês de “Outubro”, no ano de 2019, apresenta uma melhoria no desempenho de BL e PT e uma queda de desempenho nos métodos de AB, HS e MK.

O método de BL, apresentou o melhor desempenho entre os métodos, sendo o único a apresentar o desempenho classificado como “Bom”, mostrando uma melhoria significativa em seu desempenho, que havia sido classificado como “Mau”, e redução nos valores de EMAX, EMA e RQEM, aumento do R² em relação a Setembro/2019.

Em seguida o método de PT apresenta destaque, por ser notado melhoria em seu desempenho, que foi classificado como “Mediano”.

O método de IR manteve o desempenho classificado como “Sofrível” assim como observado em Setembro/2019, entretanto, é notado um aumento em seu R^2 (55,36%) e diminuição nos valores de EMAX, EMA e RQEM (2,5; 0,79; 0,89) em relação a referida época de avaliação.

Os métodos de AB, HS e MK, que em Setembro/2019 haviam sido classificados como “Sofrível”, passaram a ser classificados como “Péssimo”. Os valores de R^2 entre esses métodos foram bem próximos variando entre 40,78% a 43,39%, entretanto quando se analisa os valores de EMAX, EMA e RQEM, é notado um diferente comportamento, podendo ser observado o maior valor de EMAX para o método de AB (2,52), enquanto o método de MK apresentou o menor valor (1,82), entretanto quando se analisa os valores de EMA e RQEM, é notado o oposto, o método de MK apresenta os maiores valores (0,90; 0,95) e o método de AB os menores valores (0,65; 0,81).

No ano de 2020, é notada uma melhoria no desempenho dos métodos de AB, HS e MK, e uma queda no desempenho dos métodos de BL e PT.

Os métodos de AB, HS e MK, que antes eram classificados como “Mau”, passaram a apresentar desempenho classificado como “Mediano”. Os métodos de AB e MK apresentaram valores próximos de R^2 (63,15% e 63,18%, respectivamente), sendo o método de AB, o maior valor de R^2 observado, enquanto o método de HS apresentou o menor valor (56,39%). Analisando os valores de EMAX, o método de AB apresenta o maior valor (2,97), enquanto o método de MK apresenta o menor (1,85), já nas variáveis de EMA e RQEM, o método de AB apresentou os menores valores em relação aos métodos de HS e MK.

O método de IR assim como em Outubro/2019, manteve o desempenho classificado como sofrível, entretanto, é notado um aumento no seu valor de R^2 , índice “d”, e em seu EMAX, entretanto, os valores de EMA e RQEM diminuíram, em relação ao observado no ano anterior. Conjuntamente com o método de IR, o método de PT também apresentou desempenho classificado como “Sofrível”. Em comparação com o método de IR, PT apresentou elevado R^2 , entretanto, apresenta elevados valores de EMAX, EMA e RQEM, e um menor valor em seu índice “d”.

Uma melhoria significativa é observada no desempenho dos métodos em geral, em relação ao observado no ano de 2020. Os métodos de AB, HS, IR e MK, obtiveram as melhores classificações, tendo sido classificados como “Muito bom”.

Entre os métodos classificados como “Muito bom”, o método de IR apresenta o maior R^2 (87,59%) em relação aos demais métodos, os métodos de AB e MK, apresentaram valores próximos (80,30% e 80,50%, respectivamente), enquanto o menor valor é observado pelo método de HS (78,89%). Quando se analisa as variáveis de EMA, EMAX e RQEM, é observado que o método de HS apresenta o maior valor de EMA (2,20), entretanto, o referido método apresenta os menores valores observados de EMAX e RQEM (0,56; 0,75). Enquanto o método de MK apresenta os maiores valores de EMAX e RQEM (0,81; 0,90).

O método de PT apresentou uma melhoria significativa em relação ao observado em 2020, passando da classificação de “Sofrível” para “Bom”. Outro método que embora hierarquicamente seja um desempenho inferior, mas, representa uma melhoria em seu desempenho, foi o método de BL, que passou da classificação de “Péssimo” para “Sofrível”.

No ano de 2022, se observa uma queda geral no desempenho dos métodos, tendo a maioria seu desempenho classificado como “Mediano”, sendo a maior queda observada no método de MK.

Em contrapartida, o método de PT manteve o desempenho classificado como “Bom”, podendo ser observado um aumento em seu R^2 (78,73%) e diminuição nos valores de EMA, EMAX e RQEM (2,86; 0,82; 0,82) em relação ao observado no ano de 2021.

Os métodos de AB, HS e IR, apresentaram uma queda em seu desempenho, passando a ser classificado como “Mediano”, entretanto, para o método de BL que também se enquadra nessa classificação, representa uma melhoria em seu desempenho em relação ao observado em 2021, que havia sido classificado como “Sofrível”.

Analisando o comportamento desses métodos, o R^2 variou entre 56% a 67,76%, tendo o método de IR apresentando o maior valor (67,76%) e o de AB o menor valor (56,00%), o índice de EMAX, é observado o maior valor no método de BL (3,00), enquanto o método de HS apresenta o menor valor (2,22), entretanto, o método de HS, apresenta os maiores valores de EMA e RQEM (0,79; 0,89), os menores valores observados para os referidos índices, foi obtido pelo método de IR (0,66; 0,81).

Os métodos de HS e PT, apresentaram desempenho classificado como “Muito bom”, representando uma melhoria em relação ao ano de 2022, que obtiveram classificação como “Mediano” e “Bom”, respectivamente. O método de PT, apresenta maior destaque em relação ao de HS, por apresentar o maior R^2 (84,52%) e menores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,42; 0,48; 0,69).

Alguns métodos como AB e IR mantiveram o desempenho “Mediano” e conjuntamente com esses métodos, tem-se o método de MK, que obteve uma melhoria em seu desempenho quando comparado ao obtido em Outubro/2022.

Entre os métodos dessa classificação, quando se avalia o R^2 , os métodos de AB e MK apresentaram valores bem próximos (64,14% e 64,06%, respectivamente), sendo o maior valor observado pelo método de IR (71,87%). Entretanto, quando se analisa o EMAX, o método de MK, apresentou o maior valor (2,48), enquanto os métodos de IR e AB, apresentaram valores próximos, para as variáveis de EMAX, EMA e RQEM.

Tabela 12 - Análise de desempenho para o mês de “Novembro” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Novembro/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	84,20	1,31	0,54	0,73	0,88	0,81	Muito bom
BL	67,95	1,66	0,63	0,79	0,86	0,71	Bom
HS	84,88	1,44	0,60	0,77	0,89	0,82	Muito bom
IR	84,86	1,48	0,67	0,82	0,81	0,75	Muito bom
JH	42,81	3,66	1,01	1,00	0,49	0,32	Péssimo
MK	84,25	1,78	0,80	0,89	0,84	0,77	Muito bom
PT	92,07	1,01	0,41	0,64	0,95	0,91	Ótimo
Novembro/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	74,06	1,52	0,61	0,78	0,82	0,71	Bom
BL	24,70	2,40	0,88	0,94	0,68	0,33	Péssimo
HS	70,62	1,27	0,64	0,80	0,86	0,72	Bom
IR	63,28	1,98	0,92	0,96	0,68	0,54	Sofrível
JH	0,21	2,34	0,95	0,97	0,28	0,012	Péssimo
MK	74,17	1,86	0,81	0,90	0,78	0,67	Bom
PT	83,06	1,49	0,69	0,83	0,84	0,76	Muito bom
Novembro/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	68,26	2,07	0,63	0,79	0,85	0,70	Bom
BL	45,10	2,35	0,77	0,88	0,80	0,54	Sofrível
HS	68,26	2,14	0,77	0,88	0,84	0,70	Bom
IR	66,74	2,12	0,84	0,92	0,76	0,62	Mediano
JH	10,99	3,54	0,92	0,96	0,34	0,11	Péssimo

MK	68,27	2,37	0,97	0,98	0,77	0,64	Mediano
PT	95,61	1,04	0,53	0,73	0,94	0,92	Ótimo
Novembro/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	37,66	1,73	0,67	0,82	0,74	0,46	Mau
BL	23,05	3,78	0,86	0,93	0,66	0,31	Péssimo
HS	40,98	2,05	0,70	0,84	0,78	0,50	Sufrível
IR	38,14	2,18	0,85	0,92	0,64	0,39	Péssimo
JH	0,94	2,81	0,82	0,91	0,33	0,03	Péssimo
MK	37,82	2,71	0,99	0,99	0,65	0,40	Péssimo
PT	59,11	2,50	0,70	0,84	0,78	0,60	Sufrível
Novembro/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	50,91	2,36	0,51	0,71	0,78	0,56	Sufrível
BL	44,08	2,07	0,76	0,87	0,78	0,52	Sufrível
HS	61,42	1,68	0,87	0,93	0,76	0,59	Sufrível
IR	56,14	2,20	0,63	0,79	0,71	0,53	Sufrível
JH	14,48	2,86	0,73	0,85	0,47	0,18	Péssimo
MK	50,83	2,48	0,95	0,97	0,67	0,48	Mau
PT	75,87	1,58	0,46	0,68	0,87	0,76	Muito bom

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

No geral, pode ser observado que no ano de 2019, todos os métodos apresentaram um desempenho satisfatório, com classificação como “Ótimo”, “Muito bom” e “Bom”, tendo apenas o método de JH com classificação “Péssima”.

O melhor desempenho pode ser atribuído ao método de PT, cuja classificação do desempenho foi “Ótimo”, tendo o maior valor de R^2 (92,07%) e menores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,01; 0,41; 0,74).

Em seguida se tem os métodos de AB, HS, IR e MK, com classificação de desempenho “Muito bom”. Esses métodos apresentaram comportamento semelhante quando se avalia o valor do R^2 , que apresentou variação entre 84,20% e 84,26%. Entretanto, quando se analisa os valores de EMA, EMAX e RQEM, observa-se que o método de MK, apresenta os maiores valores para as respectivas variáveis (1,78; 0,80; 0,89), os métodos de HS e IR, apresentam valores próximos para as variáveis analisadas, mostrando assim um comportamento semelhante entre os métodos, todavia, os menores valores, podem ser observados no método de AB (1,31; 0,54; 0,73).

O método de BL, foi o único que apresentou o desempenho classificado como “Bom”, mantendo assim, o mesmo comportamento observado em Outubro/2019, porém, é observado uma melhoria do método, pois além de um aumento do R^2 , nota-se uma diminuição nos valores de EMA, EMAX e RQEM em relação ao período de Outubro/2019.

No ano de 2020, é notada uma queda no desempenho de alguns métodos, tendo apresentado classificações em seu desempenho como “Muito bom”, “Bom”, “Sofrível” e “Péssimo”.

O método de PT, que havia obtido desempenho classificado como “Ótimo”, passa a apresentar desempenho classificado como “Muito bom”, tendo apresentado queda no valor do seu R^2 e aumento nos valores de EMA, EMAX e RQEM. Todavia, mesmo com essa queda em seu desempenho, o método manteve destaque em relação aos demais, tendo obtido o melhor desempenho nesse período.

Em seguida, os métodos de AB, HS e MK apresentaram desempenho classificado como “Bom”, o que representa também uma queda quando se compara com o desempenho observado no ano de 2019. Os métodos de AB e MK apresentaram valores próximos de R^2 (74,06% e 74,17%, respectivamente), enquanto o método de HS apresentou um R^2 de 70,62%. Analisando os valores de EMA, EMAX e RQEM, o método de HS apresentou o menor valor de EMA (1,27), enquanto o

método de MK apresentou o maior valor (1,86), entretanto quando se compara os valores de EMAX e RQEM, é observado que os métodos de AB (0,61; 0,78) e HS (0,64; 0,80) apresentam valores próximos.

Os métodos de IR e BL, foram os que apresentaram maior queda em seu desempenho, tendo o método de IR que era classificado como “Muito bom” em 2019, passando a ser classificado como “Sofrível” em 2020, entretanto, a maior queda no desempenho, foi obtida pelo método de BL, que passou a ter desempenho classificado como “Péssimo”, visto que em 2019, o método apresentou desempenho classificado como “Bom”.

O método de PT, segue se destacando em relação aos demais métodos, tendo apresentado o desempenho classificado como “Ótimo”.

Os métodos de AB e HS mantiveram o desempenho classificado como “Bom”, tal qual foi observado em 2019 e 2020. Entretanto, é notada uma queda no R^2 e um aumento nos valores de EMAX, EMA e RQEM quando se compara os referidos valores com o observado em 2020, tendo o método de HS, apresentado os maiores valores de EMAX, EMA e RQEM (2,14; 0,77; 0,88).

Os métodos de IR e MK, apresentaram desempenho classificado como “Mediano”, o que para o método de MK representa uma queda no desempenho em relação ao observado em 2020, e uma melhoria para o método de IR quando se compara com o referido ano. Comparando os valores de R^2 , o método de MK (68,27%) apresentou maior valor em relação ao método de IR (66,74%), porém, quando se analisa os valores de EMAX, EMA e RQEM, ocorre o inverso, sendo observado os maiores para o método de MK (2,37; 0,97; 0,98) e os menores para o método de IR (2,12; 0,84; 0,92).

O método de BL, apresentou uma pequena melhoria em seu desempenho em relação a 2020, passando a ter desempenho classificado como “Sofrível”.

É observada uma queda no desempenho dos métodos, passando a apresentar a classificação “Sofrível”, “Mau” e “Péssimo”, sendo o ano de 2022, com o pior desempenho dos métodos para o mês de Novembro.

Os métodos de PT e HS, se sobressaíram aos demais sendo os únicos a apresentarem classificação como “Sofrível”. O método de PT, apresentou o maior valor de R^2 (59,11%) em relação ao método de HS, todavia, o método de HS apresenta um menor valor de EMA (2,05) em relação ao método de PT (2,50), porém, nota-se

que embora tenha essa discrepância entre os valores de R^2 e EMA, os valores de EMAX, RQEM e do índice d, foram idênticos para ambos os métodos.

Os métodos de BL, IR, JH e MK apresentaram o desempenho classificado como “Péssimo”, o que com exceção ao método de JH, representa uma queda drástica no desempenho dos métodos para o mês em estudo em relação aos anos anteriores. O pior desempenho dentre eles pode ser atribuído ao método de JH, por apresentar os menores valores dos respectivos R^2 e índice d (0,94%; 0,65) e elevados valores de EMAX, EMA e RQEM (2,81; 0,82; 0,91).

O ano de 2023 mostra uma melhoria no desempenho dos métodos em relação ao ano de 2022, tendo os métodos apresentado classificação como “Muito bom”, “Sofrível”, “Mau” e “Péssimo”.

O método de PT mantém seu destaque tal qual observado nos outros anos para o referido mês, tendo sua classificação como “Muito bom”, apresentando os valores mais elevados de R^2 (75,87%), e menores valores de EMAX, EMA e RQEM (1,58; 0,46; 0,68).

Os métodos de AB, BL, HS e IR, apresentaram a classificação como “Sofrível”, representando uma melhoria no desempenho em relação ao ano de 2022 para os métodos de AB, BL e IR, e demonstra uma estabilidade no desempenho para o método de HS, que manteve a classificação.

Comparando os valores de R^2 entre esses métodos, o método de HS apresenta o maior valor (61,42%), e o menor valor obtido pelo método de BL (44,08%). Entre os valores de EMAX, o método de HS apresenta o menor valor (1,68) e o método de AB apresenta o maior valor (2,36), entretanto, quando se analisa os valores de EMA e RQEM, é observado que o método de BL apresenta os menores valores (0,51; 0,71), enquanto o método de HS obtém os maiores valores (0,87; 0,93).

Os métodos de MK e JH, obtiveram as piores classificações para o ano de 2023, tendo obtido o desempenho classificado como “Mau” e “Péssimo”.

Tabela 13 - Análise de desempenho para o mês de “Dezembro” referente aos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Dezembro/2019							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	84,95	1,53	0,70	0,84	0,85	0,80	Muito bom
BL	86,44	1,61	0,67	0,82	0,87	0,81	Muito bom
HS	94,97	1,78	0,85	0,92	0,84	0,82	Muito bom
IR	92,90	1,71	0,80	0,89	0,78	0,76	Muito bom
JH	65,28	3,92	1,34	1,16	0,52	0,42	Mau
MK	89,56	2,11	5,59	2,36	0,77	0,73	Muito bom
PT	97,84	0,55	0,20	0,45	0,99	0,98	Ótimo
Dezembro/2020							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	37,94	2,85	0,73	0,85	0,64	0,29	Péssimo
BL	56,01	2,21	0,66	0,81	0,78	0,58	Sufrível
HS	50,66	3,67	1,05	1,02	0,64	0,75	Bom
IR	46,23	2,54	0,70	0,84	0,62	0,47	Mau
JH	50,16	3,44	1,28	1,13	0,49	0,35	Péssimo
MK	37,93	3,9	1,31	1,14	0,55	0,34	Péssimo
PT	92,55	0,96	0,29	0,54	0,97	0,93	Ótimo
Dezembro/2021							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	78,88	1,69	0,62	0,79	0,89	0,79	Muito bom
BL	58,43	2,48	0,77	0,88	0,80	0,61	Mediano
HS	77,47	1,69	0,76	0,87	0,87	0,77	Muito bom
IR	76,00	2,33	0,79	0,89	0,79	0,69	Bom
JH	4,35	3,72	1,17	1,08	0,39	0,08	Péssimo

MK	78,73	1,94	0,89	0,94	0,84	0,74	Bom
PT	91,17	1,38	0,37	0,61	0,96	0,91	Ótimo
Dezembro/2022							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	68,63	1,69	0,55	0,74	0,83	0,69	Bom
BL	41,60	2,21	0,66	0,81	0,75	0,49	Mau
HS	70,00	2,71	0,76	0,87	0,78	0,66	Bom
IR	67,39	1,71	0,62	0,79	0,74	0,61	Mediano
JH	7,38	2,77	1,20	1,10	0,46	0,12	Péssimo
MK	68,59	2,69	0,99	0,99	0,70	0,59	Sofrível
PT	95,61	0,62	0,19	0,44	0,98	0,96	Ótimo
Dezembro/2023							
Método	R ²	EMAX	EMA	RQEM	d	c	Classificação
AB	54,08	2,09	0,66	0,81	0,72	0,53	Sofrível
BL	59,43	1,63	0,63	0,79	0,82	0,63	Mediano
HS	57,33	2,45	0,96	0,98	0,68	0,51	Sofrível
IR	61,12	2,08	0,76	0,87	0,67	0,53	Sofrível
JH	42,25	3,79	0,72	0,85	0,40	0,26	Péssimo
MK	54,09	2,85	0,89	0,94	0,66	0,49	Mau
PT	91,54	0,66	0,25	0,50	0,97	0,93	Ótimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

De forma geral, é possível observar que todos os métodos apresentaram um desempenho satisfatório no ano de 2019, com exceção ao método de JH que apresentou desempenho classificado como “Mau”.

O método de PT apresentou o melhor desempenho, sendo classificado como “Ótimo”, enquanto os métodos de AB, BL, HS, IR e MK, apresentaram desempenho classificado como “Muito bom”.

Analisando o R^2 dos métodos classificados como “Muito bom”, é possível observar um comportamento semelhante entre eles, os métodos de AB, BL e MK apresentaram valores próximos (84,95%; 86,44%; 89,56%), e os métodos de HS e IR também apresentaram valores próximos (94,97%; 92,90%). Nas variáveis de EMAX, EMA e RQEM, nota-se que os métodos de AB, BL, HS e IR, apresentaram valores bastantes próximos, tendo o método de MK tendo apresentado os valores mais elevados, e consequentemente, mais discrepantes em relação aos demais métodos.

No ano de 2020, ocorreu uma queda no desempenho de alguns métodos, com exceção do método de PT, que manteve o desempenho classificado como “Ótimo”.

O método de HS foi o único que apresentou o desempenho classificado como “Bom”, que embora essa classificação não represente uma queda tão drástica no desempenho, observa-se uma queda significativa em seu R^2 e aumento dos valores de EMAX, EMA e RQEM em relação ao observado em 2019.

As quedas mais significativas no desempenho ocorrem nos métodos de IR, AB e MK, respectivamente. No método de IR, ocorre uma queda do desempenho de “Muito bom” para “Péssimo”.

Enquanto os métodos de AB e MK, obtiveram desempenho classificado como “Péssimo” o que representa uma queda drástica em seu desempenho, visto que no ano de 2019 o desempenho foi classificado como “Muito bom”. Comparando esses métodos entre si, nota-se que o método de JH apresentou o maior R^2 (50,16%), entretanto, quando se compara os valores de EMA, EMAX e RQEM, o método de AB se destaca com os menores valores observados (2,85; 0,73; 0,85), porém, nota-se que o método de MK (1,31; 1,14) apresenta valores de EMA e RQEM ao método de JH (1,28; 1,14).

No ano 2021 ocorre uma melhoria geral no desempenho dos métodos em relação ao observado em 2020, tendo os métodos apresentado classificação como “Ótimo”, “Muito bom”, “Bom”, “Mediano” e “Péssimo”.

O método de PT mantém-se como “Ótimo”, tendo obtido o melhor desempenho entre os demais métodos.

Entre os métodos que obtiveram classificação como “Muito bom”, estão os métodos de AB e HS, essa classificação representa uma melhoria significativa no desempenho deles, principalmente para o método de AB que no ano anterior havia obtido desempenho classificado como “Péssimo”. Ambos os métodos, apresentaram

valores próximos de R^2 (78,88%; 77,47%, respectivamente) e valores idênticos de EMAX (1,69), porém, no que tange às variáveis de EMA e RQEM, o método de HS apresentou os valores mais elevados (0,76; 0,87).

Os métodos de IR e MK, obtiveram o desempenho classificado como “Bom”, o que também representou uma melhoria significativa nos desempenhos de ambos, visto que a classificação obtida no período de 2021 fora “Sofrível” e “Péssimo”. Observa-se que ambos os métodos apresentaram bem semelhantes de R^2 (78,88%; 78,33%), todavia, quando se compara os valores de EMA, EMAX e RQEM, o método de MK apresentou valores mais elevados (1,94; 0,89; 0,94) em relação ao método de IR (1,69; 0,62; 0,79).

Outra melhoria no desempenho é observada no método de BL que apresentou desempenho classificado como “Mediano”, embora tenha sido inferior em relação aos demais métodos, representa uma melhoria quando se compara com o observado em 2021, cujo desempenho foi classificado como “Sofrível”. Quando se analisa os valores de R^2 e EMAX, é observado que não foram tão distintos do observado no ano anterior, porém, nota-se uma elevação nos valores de EMA e RQEM.

Em relação ao ano de 2021, o ano de 2022 representou uma queda no desempenho de alguns métodos, tendo apresentadas classificações “Ótimo”, “Bom”, “Mediano”, “Sofrível”, “Mau” e “Péssimo”. Tendo o método de PT, mantido seu desempenho classificado como “Ótimo”.

Os métodos de AB e HS, apresentaram desempenho classificado como “Bom”, embora esse desempenho seja considerado inferior quando comparado com o ano de 2021, não representa uma queda tão significativa no desempenho. Avaliando esses métodos entre si, nota-se que ambos apresentam valores próximos de R^2 (68,63% e 70,00%, respectivamente), porém, o método de HS apresenta valores mais elevados de EMAX, EMA e RQEM (2,71; 0,76; 0,87) em relação ao método de AB (1,69; 0,55; 0,74).

Uma queda significativa de desempenho é observada nos métodos de IR e MK, que obtiveram as respectivas classificações de “Mediano” e “Sofrível”. Entre esses métodos a queda mais significativa de desempenho ocorre no método MK que obteve além da classificação inferior, elevados valores de EMAX, EMA e RQEM (2,69; 0,99; 0,99).

Assim como ocorrido no ano de 2022, o ano de 2023 segue com uma tendência de queda no desempenho dos métodos, tendo sido observado quedas mais

significativas no desempenho dos métodos. Com exceção ao método de BL e PT, que mantiveram o desempenho observado em 2022, todos os outros métodos tiveram seu desempenho afetado.

Os métodos de AB, HS e IR apresentaram desempenho classificado como “Sofrível”. Para os métodos de AB e HS, representa uma queda significativa no desempenho, visto que no ano anterior ambos os métodos haviam apresentado desempenho classificado como “Bom”. Comparando os métodos entre si, o método de IR apresenta o mais elevado valor de R^2 (57,33%), e o método de AB o menor valor (54,08%), comparando os valores de EMAX, EMA e RQEM, é observado que os métodos de AB e IR apresentam valores bem próximos de EMAX (2,09 e 2,08, respectivamente), tendo o método de HS apresentado o maior valor (2,45). No que tange a EMA e RQEM, o método de HS segue apresentando os valores mais elevados (0,96 e 0,98, respectivamente), tendo os menores valores sido obtidos pelo método de AB (0,66 e 0,81, respectivamente).

Ocorreu uma variação no desempenho dos métodos em função dos meses e dos anos devido as variações climáticas sazonais de cada estação do ano, atrelado a isso, deve-se considerar que os métodos são sensíveis as variações meteorológicas. A radiação solar e a UR são os elementos meteorológicos que exercem maior efeito sob a ETo, sendo a radiação maior durante período que engloba os meses referentes a primavera-verão, e a UR maior no período de meses de outono-inverno (Shi et al., 2023).

Nas tabelas abaixo, se encontram o desempenho comparativo dos métodos de estimativa da ETo em escala diária anual para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023.

Tabela 14 - Análise de desempenho dos métodos de estimativa da ETo para o ano de 2019.

2019							
	R ²	EMAX	EMA	RQEMA	d	c	Classificação
AB	79,93	2,80	0,57	0,75	0,89	0,80	Muito bom
BL	69,72	2,35	0,82	0,90	0,86	0,72	Bom
HS	73,34	2,79	0,86	0,92	0,86	0,73	Bom
IR	59,27	3,08	0,59	0,77	0,88	0,80	Muito bom
JH	51,20	4,15	1,56	1,25	0,54	0,40	Péssimo
MK	79,95	2,48	0,97	0,99	0,82	0,73	Bom
PT	82,86	2,99	0,53	0,72	0,93	0,84	Muito bom

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

No ano de 2019, os métodos avaliados podem ser classificados em “Muito bom”, “Bom” e “Péssimo”.

Os métodos de AB, IR e PT, obtiveram as melhores classificações, sendo classificados como “Muito bom”. Comparando o desempenho desses métodos entre si, os métodos de PT e AB, apresentaram valores próximos de R² (82,86% e 79,93%, respectivamente), enquanto o método de IR, apresentou o menor valor (59,2%), quando se compara os valores de EMAX, o método de IR apresentou o maior valor (3,08), seguido pelo método de PT (2,99), tendo o menor valor sido obtido pelo método de AB (0,57). Entretanto, quando se avalia os valores de EMA e RQEMA, o método de PT apresenta os menores valores (0,53 e 0,67), enquanto os métodos de IR (0,59 e 0,57) e AB (0,57 e 0,75), apresentaram respectivamente os maiores valores.

Os métodos que obtiveram classificação como “Bom”, encontram-se: BL, HS e MK. Entre esses métodos, o método de MK, apresenta o maior valor de R² (79,95%), enquanto os métodos de BL e HS apresentam valores de 69,72% e 73,34%, respectivamente. Analisando os erros, observa-se que o método de HS apresentou o valor mais elevado de EMAX (2,79), enquanto os métodos de BL e MK apresentaram respectivamente os menores valores (2,35; 2,79). Entretanto, quando se analisa os valores de EMA e RQEM, o método de MK apresenta os maiores valores (0,97 e 0,99, respectivamente), já os métodos de BL e HS, apresentaram valores próximos, com os menores valores obtido pelo método de BL (0,82 e 0,90, respectivamente).

Tabela 15 - Análise de desempenho dos métodos de estimativa da ETo para o ano de 2020.

2020							
	R ²	EMAX	EMA	RQEMA	d	c	Classificação
AB	73,14	2,97	0,57	0,75	0,88	0,77	Muito bom
BL	59,64	3,59	0,75	0,85	0,84	0,65	Mediano
HS	67,04	3,67	0,86	0,93	0,84	0,69	Bom
IR	75,57	2,93	0,57	0,75	0,87	0,76	Muito bom
JH	44,31	3,80	1,44	1,25	0,55	0,37	Péssimo
MK	73,12	3,90	1,03	0,99	0,79	0,68	Bom
PT	75,89	3,73	0,67	0,81	0,89	0,77	Muito bom

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os métodos de AB, IR e PT, seguem com a classificação do seu desempenho como “Muito bom”, entretanto, diferentemente do que se observa para o ano de 2019, o método de IR teve uma melhoria significativa em seu R², apresentando um valor extremamente próximo do método de PT. Avaliando as variáveis de EMAX, EMA e RQEMA, observa-se um aumento dos valores no método de PT, principalmente no valor de EMAX, que passou a ser de 3,73 indicando um aumento de 24,75%, enquanto o método de IR apresentou uma redução geral nos valores de erros, indicando uma melhoria geral no desempenho do método. Já o método de AB, apresentou uma redução em seu R² e um pequeno aumento no valor de EMAX, enquanto os valores de EMA e RQEMA, mantiveram-se os mesmos observados em 2019.

Os métodos de HS e MK mantiveram o desempenho classificado como “Bom”, diferente do método de BL, que passou a ser classificado como “Mediano”. Para ambos, métodos é notado uma queda no R², sendo a queda mais significativa observada no método de BL que apresentou um R² de 59,64%, indicando uma redução de 14,45%, no que tange os erros é observado um aumento mais significativo no método de MK, que apresentou os maiores valores de EMAX, EMA e RQEM (3,90; 1,03; 0,99).

Tabela 16 - Análise de desempenho dos métodos de estimativa da ETo para o ano de 2021.

2021							
	R ²	EMAX	EMA	RQEMA	d	c	Classificação
AB	62,21	3,67	0,67	0,81	0,84	0,66	Bom
BL	54,35	4,43	0,81	0,85	0,82	0,61	Mediano
HS	55,83	4,01	0,90	0,93	0,80	0,60	Sofrível
IR	64,95	3,77	0,65	0,80	0,83	0,66	Bom
JH	33,76	4,70	1,44	1,25	0,55	0,32	Péssimo
MK	62,21	4,11	1,09	0,99	0,75	0,59	Sofrível
PT	72,37	3,83	0,77	0,67	0,86	0,73	Bom

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

É observada uma queda geral no desempenho dos métodos no ano de 2021, os métodos de AB, IR e PT, que obtiveram classificações sucessivas de “Muito bom” nos anos de 2019 e 2021, obtiveram desempenho classificado como “Bom”. É notada uma queda geral no R² desses métodos, principalmente no método de IR, que apresentou R² de 64,95% mostrando uma redução de 14,04% em relação ao ano de 2020. Analisando os valores de erros, o método de PT apresentou o valor mais elevado dos valores para as variáveis de EMAX e EMA (3,83; 0,77), todavia, quando se compara com o observado em 2020, é notada uma queda nos valores de EMA e RQEM. Os métodos de AB e IR apresentaram valores próximos de EMAX, EMA e RQEM, tendo o método de IR apresentando valor mais elevado de EMAX (3,77) em relação ao método de AB (3,67).

O método de BL manteve o desempenho classificado como “Mediano”, com uma redução de 6,39% em seu R² e aumento nos valores de EMA, EMAX e RQEM em relação ao observado em 2020.

A queda de desempenho mais significativa é observada nos métodos de HS e MK, que foram classificados como “Sofrível”. O método de MK apresentou o maior valor de R² (62,21%). Analisando os valores de EMA, EMAX e RQEM, é notado que os métodos apresentam valores próximos, porém, o método de MK apresenta os mais elevados valores (4,11; 1,09 e 0,99, respectivamente).

Tabela 17 - Análise de desempenho dos métodos de estimativa da ETo para o ano de 2022.

2022							
	R ²	EMAX	EMA	RQEMA	d	c	Classificação
AB	70,38	2,41	0,60	0,75	0,87	0,73	Muito bom
BL	55,32	3,78	0,81	0,85	0,82	0,61	Mediano
HS	62,83	3,62	0,84	0,93	0,83	0,66	Bom
IR	73,77	2,51	0,68	0,77	0,86	0,73	Bom
JH	35,00	3,92	1,55	1,25	0,53	0,32	Péssimo
MK	70,40	2,98	1,02	0,99	0,78	0,65	Mediano
PT	76,27	2,97	0,57	0,67	0,90	0,79	Muito bom

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

No ano de 2022 ocorre uma melhoria geral no desempenho dos métodos, obtendo as respectivas classificações “Muito bom”, “Bom”, “Mediano”. Os melhores desempenhos foram atribuídos aos métodos de AB e PT, cujo desempenho fora classificado como “Muito bom”.

Comparando esses métodos entre si, observa-se o maior valor de R² para o método de PT em relação ao método de AB, entretanto, o mesmo apresentou um maior valor de EMAX (2,97) quando comparado com o método de AB (2,41), todavia, quando se analisa as variáveis de EMA e RQEM, o método de PT apresenta valores mais baixos (0,57 e 0,67, respectivamente).

Os métodos de HS e IR obtiveram classificação “Bom” em seu desempenho, tendo o método de IR, apresentado o maior valor de R² (73,77%) quando comparado com o método de HS (62,83%), também é notado que o método de IR apresenta os menores valores de EMAX, EMA e RQEMA em relação ao método de HS.

Os métodos classificados como “Mediano” encontram-se os métodos de BL e MK. Analisando o valor de R², observa-se que o método de MK apresentou o valor mais elevado (70,40%), entretanto, quando se analisa os valores de EMA, EMAX e RQEM, observa-se um valor mais elevado de EMAX para o método de BL (3,78), entretanto, quando se compara os valores de EMA e RQEM, o método de BL apresenta valores mais baixos (0,81 e 0,85, respectivamente) em relação ao método de MK (0,99 e 1,02, respectivamente).

Tabela 18 - Análise de desempenho dos métodos de estimativa da ETo para o ano de 2023.

2023							
	R ²	EMAX	EMA	RQEMA	d	c	Classificação
AB	77,78	2,73.	0,61	0,75	0,89	0,78	Muito bom
BL	65,96	2,96	0,73	0,85	0,89	0,77	Muito bom
HS	76,93	2,45	0,83	0,93	0,86	0,85	Ótimo
IR	82,28	2,20	0,54	0,77	0,89	0,81	Muito bom
JH	51,28	4,05	1,56	1,25	0,58	0,47	Mau
MK	77,79	2,48	0,99	0,99	0,81	0,71	Bom
PT	85,84	2,18	0,45	0,67	0,95	0,88	Ótimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Seguindo a tendência do que foi observado no ano de 2022, em 2023 é observada uma melhoria no desempenho dos métodos, que obtiveram classificações “Ótimo”, “Muito bom”, “Bom” e “Mau”.

Os métodos de HS e PT, apresentaram o seu melhor desempenho entre todos os anos de avaliação, obtendo desempenho classificado como “Ótimo”. Analisando o valor de R², observa-se que o método de PT apresentou o maior valor (85,84%), tendo também apresentado os menores valores de EMAX, EMA e RQEM (2,18; 0,45; 0,67) em relação ao método de HS (2,45; 0,83; 0,93).

Os métodos de AB, BL e IR obtiveram classificação como “Muito bom”, o que indica uma melhoria no desempenho dos métodos de BL e IR em relação ao ano de 2022. O método de IR apresentou o maior valor de R² (82,28%) entre os métodos dessa classificação, sendo também, o maior valor de R² obtido pelo método em todos os anos de avaliação, em seguida, encontra-se o método de AB com um R² de 77,78% e o método de BL cujo valor de 65,96% indicando o menor valor entre os métodos. Analisando as variáveis de EMAX, EMA e RQEM, observa-se novamente um destaque para o método de IR, que apresentou os menores valores (2,20; 0,54; 0,77, respectivamente), seguido pelo método de AB (2,63; 0,61; 0,75), e por fim, o método de BL, com os maiores valores (2,96; 0,73; 0,85).

O método de MK obteve classificação como “Bom”, o que mostra uma melhoria em seu desempenho em relação ao observado em 2022 e 2021 cuja classificação foi

“Mediano” e “Sofrível”, respectivamente. O método apresentou uma melhoria em seu R^2 , obtendo um valor de 77,79% sendo bem próximo ao obtido no ano de 2019 (79,95%), ele se observa quando analisa os valores de EMAX, EMA e RQEM, que além de terem apresentado reduções significativas em relação aos anos de 2022, 2021 e 2020, também se aproximam do observado em 2019.

O método de JH que em todos os anos apresentou desempenho classificado como “Péssimo” no ano de 2023 apresentou desempenho classificado como “Mau”, que embora não seja um desempenho considerado satisfatório para o seu uso, representa uma melhora no desempenho em relação ao observado nos anos de 2019, 2020, 2021 e 2022.

O método de PT foi considerado o que apresentou o desempenho mais constante, tendo ótimo desempenho ao longo das avaliações, com os maiores destaques nos meses de: Janeiro (2019, 2020 e 2023), Fevereiro (2019, 2020, 2021 e 2022), Março (2019 e 2023), e tendo o principal destaque de desempenho nos meses de Novembro e Dezembro para todos os anos em estudo (2019, 2020, 2021, 2022 e 2023). Caporusso e Rolim (2015) avaliando o desempenho de métodos de estimativa da ETo para Jaboticabal, SP observou que o método de PT apresentou melhor desempenho no período de verão, o que corrobora com o presente estudo, visto que os melhores desempenhos foram atribuídos aos meses que englobam o verão. Resultado semelhantes foram obtidos por Barbosa e Cavalcanti (2024) que observaram um desempenho “ótimo” do método de PT nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro na região de Presidente Prudente, SP. Analisando o desempenho em escala anual, o método de PT manteve desempenho oscilando entre “Muito bom” e “Ótimo”, com seu pior desempenho ocorrido no ano de 2021, com classificação “Bom”. Em um estudo realizado por Alencar *et al.* (2011) em três municípios da região norte de Minas Gerais, com uma escala de dados diários de 10 anos, o método de Priestley-Taylor também obteve desempenho classificado como “Ótimo”. O bom desempenho do método de PT é atrelado ao fato de ser uma simplificação do método de Penman (Penman Original), sendo que o procedimento de alguns parâmetros são os mesmos utilizados no método padrão de PM-FAO 56 (Carvalho *et al.*, 2011).

Em seguida, os métodos de AB e IR apresentam desempenho semelhante em seu comportamento tanto em escala mensal quanto anual, apresentando-se como uma boa alternativa ao método de PT. Entretanto houve variabilidade no seu

desempenho em relação aos anos e meses. Embora não tenham apresentado uma consistência tão forte quanto o método de PT, os mesmos mantiveram um desempenho significativo nos meses de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Resultados semelhantes foram obtidos por Barbosa e Cavalcanti (2024) em que o método de AB apresentou classificação como “Ótimo” em um período compreendido entre Setembro, Outubro Novembro (Primavera) e Dezembro, Janeiro e Fevereiro (Verão), tal fato corrobora com o observado por Bartolomeu e João (2018) que aplicaram ambos métodos no estado de São Paulo apresentaram um melhor desempenho no Verão e Outono. Tanto o método de IR quanto o de AB foram desenvolvidos para climas úmidos (Irmak *et al.*, 2003), coincidentemente, o verão da região em estudo apresenta altas temperaturas e alta umidade, sendo assim, ocorrência de maior favorabilidade para o bom desempenho de ambas as equações.

O desempenho do método de HS foi satisfatório nos meses de Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro, isso vai de acordo com o observado por Ferronato *et al.* (2016) também observou desempenho “Bom” para o método em meses do período Outono e Verão para o município de Santo Antônio do Leverger, MT. Em escala anual, o método no geral teve um desempenho classificado como “Bom” chegando a obter um desempenho classificado como “Ótimo” em 2023, tendo apenas uma classificação como “Sofrível” no ano de 2021. Borges e Mediondo (2007) avaliando o desempenho de diferentes métodos em uma escala de três anos consecutivos, observou que o método de HS apresentou desempenho “Ótimo” na região da Bacia do Rio Jacupiranga no estado de São Paulo. Costa *et al.* (2017) avaliando o desempenho do referido método em cinco municípios no estado do Alagoas, obteve em geral um desempenho “Ótimo” do método na maioria dos municípios em avaliação. Fernandes *et al.* (2012) avaliando o desempenho do método de HS em uma escala de onze anos, observou que o método apresentou um desempenho “Ótimo” em épocas consideradas de maior demanda (Outubro a Março) e menor demanda (Abril a Setembro) no município de Campos dos Goytacazes, RJ, evidenciando a ocorrência da variabilidade do desempenho do método em função também da área em estudo.

BL apresentou ampla variação no desempenho nas escalas mensais e anuais, tendo em escala mensal apresentado um desempenho majoritariamente classificado como “Bom” apenas nos meses de Janeiro e Fevereiro. Em escala anual, obtido desempenho “Mediano”, tendo sido classificado como “Bom” e “Muito bom” apenas

nos anos de 2019 e 2023, respectivamente. Tais resultados corroboram com o observado por Gardiman *et al.* (2012) que obtiveram desempenho “Mediano” para o método de BL em escala anual. Resultados semelhantes foram observados por Rigoni *et al.* (2013) ao avaliarem o desempenho nas quatro estações do ano em uma escala de três anos, obtendo desempenho classificado como “Sofrível” na região de Aquidauana, MS. Um dos motivos para o baixo desempenho desse método é o fato de considerar apenas a Temperatura Média (T_{med}) e Umidade Relativa (UR) e não considerar a radiação solar (R_s), estudos como de Rigoni *et al.* (2013) e Raja *et al.* (2024) afirmam que métodos baseados apenas em dados de temperatura tendem a apresentar desempenho inferior a métodos que consideram a radiação solar em seu cálculo.

O método de Makkink (MK) apresentou desempenho classificado como “Mediano” e “Sofrível” na maioria dos períodos estudados, tendo sido observado um desempenho satisfatório apenas nos meses de Janeiro e Dezembro. Em escala anual, o método apresentou desempenho classificado como “Bom” nos anos de 2019, 2020 e 2023, e nos anos de 2021 e 2022, desempenho “Sofrível” e “Mediano”, respectivamente. Tais resultados corroboram com o obtido no estudo Chaves (2015) avaliando o desempenho do método para a região de Jaboticabal, SP, que foi classificado como “Mediano”. Santana *et al.* (2019) avaliaram o desempenho do método de Makkink na estação seca (meses de Abril a Novembro) e chuvosa (Dezembro a Março) no município de Balsas/MA, e obtiveram o desempenho classificado como “Mediano” e “Bom”. Embora o método de MK seja semelhante ao de PT, pois ambos consideram as variáveis de R_s e W , o MK apresentou o segundo pior desempenho. Um dos possíveis motivos para esse resultado é o fato do método ter sido desenvolvido para as condições climáticas de Wageningen, Holanda. Atrelado a isso, o método Makkink é indicado para a estimativa da evapotranspiração em períodos agrupados de 10 ou 30 dias (Camargo e Camargo, 2000), o que difere do realizado no presente estudo, em que a ETo foi analisada em escala diária mensal e diária anual.

A equação de JH foi a que obteve o pior desempenho em relação às demais, tendo atingido sempre desempenho “Péssimo” ou “Mau” tanto em escala mensal e anual. Lima *et al.* (2021) avaliaram o desempenho do método de JH nas condições climáticas do município de Cambará do Sul/RS classificou o método como “mau” em

dias sem chuva. Todavia, uma melhoria significativa foi observada no método em dias chuvosos, passando a ter desempenho “mediano”. Santana *et al.* (2019) que classificaram o desempenho como “Sofrível” em Balsas, MA, no período seco e chuvoso, respectivamente. Ximenes *et al.* (2015) avaliando o desempenho de diferentes métodos no estado de Minas Gerais nas estações de Primavera, Verão, Outono e Inverno, e observaram que o método de JH teve desempenho “Péssimo” em todas as estações. De acordo com Pereira *et al.* (1997), uma das razões para esse baixo desempenho é que o método foi desenvolvido, sendo utilizado em áreas irrigadas, e estimado para escalas de 5 a 10 dias, condições diferentes das desenvolvidas no presente estudo. Além disso, Fanaya Júnior *et al.* (2012) relatam que devido à simplicidade da equação de JH, ela não permite seu uso em grandes faixas de condições climatológicas

Nota-se que a maioria dos métodos apresentou o melhor desempenho nos meses de Outubro a Fevereiro (Primavera e Verão), em todos os anos, com exceção do ano de 2021, no qual ocorreu uma queda geral no desempenho dos métodos. De acordo com Maček *et al.* (2018) a radiação solar tem o maior impacto nos valores de evapotranspiração de referência, seguida pela temperatura do ar, o déficit de pressão de vapor de saturação e, por último, a velocidade do vento.

2.5 CONCLUSÕES

O método de Priestley-Taylor (PT) apresentou o melhor desempenho, tanto em escala mensal quanto anual, sendo recomendado seu uso como alternativa ao de Penman-Monteith para a região em estudo.

Os métodos de Abtew, Irmak e Hargreaves e Samani apresentaram um desempenho satisfatório, podendo ser utilizados como alternativa ao método de PT.

Os métodos de Benevidez-Lopez e Makkink apresentaram desempenho geral Mediano, sendo recomendado realizar um ajuste de escala ou uma calibração de ambos para uso na região.

O método de Jensen-Haise apresentou o pior desempenho entre os métodos em estudo, não sendo recomendado o seu uso.

Meses que englobam o período de inverno afetaram o desempenho de todos os métodos alternativos, sendo necessária a calibração de todos para o uso no período englobado entre os meses de Maio, Junho e Julho.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C.; ALMEIDA, T. S.; WANDERLEY, H. S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 2, p. 337-343, 2011.
- ALEXANDRIS, S.; KERKIDES, P. New empirical formula for hourly estimations of reference evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, v. 60, n. 3, p. 157–180, 2003.
- ALLEN, R.; PEIRERA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M, **Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements**; FAO—Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1998; ISBN 92-5-104219-5
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 899-920, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 899-920, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 56. Rome: **FAO**, 300p, 1998.
- AMANI, S.; SHAFIZADEH-MOGHADAM, H. A review of machine learning models and influential factors for estimating evapotranspiration using remote sensing and ground-based data. **Agricultural Water Management**, v. 284, 2023. ISSN 0378-3774.
- BARBOSA, A. de M.; CAVALCANTI, A. R. Estimativa da evapotranspiração de referência para Presidente Prudente, SP. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 32, e027620, 2024.
- BARBOSA, J. P. M. Classificação climática do estado de São Paulo através do método de Köppen: análise crítica e aplicação. Trabalho de monografia (Bacharelado em Geografia) Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – IG/UNICAMP. Campinas, SP, Brasil.
- BARROS, A. C.; SILVA, F. F.; ARAUJO, P. H. V.; MEDEIROS, P. R. F.; NETO, J. A. L. Estimativa diária de evapotranspiração de referência por Hargreaves-Samanie ajuste de parâmetros para Alagoas. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 3, p. 527-537, 2019.
- BARTOLOMEU, F. T.; JOAO, F. E. Reference evapotranspiration in São Paulo State: Empirical methods and machine learning techniques. **International Journal of Water Resources and Environmental Engineering**, v. 10, p. 33-44, 2018.

BELLIDO-JIMÉNEZ, J. A.; ESTÉVEZ, J.; GARCÍA-MARÍN, A. P. New machine learning approaches to improve reference evapotranspiration estimates using intra-daily temperature-based variables in a semi-arid region of Spain. **Agricultural Water Management**, v. 245, 2021.

BOCHETTI, M.; MUNOZ, P.; TUME, J.; BECH, J. Analysis of three indirect methods for estimating the evapotranspiration in the agricultural zone of Chillán, Chile. **Obras y Proyectos**, n. 19, p. 74-81, 2016.

BONFANTE, A.; BASILE, A.; LANGELLA, G.; MANNA, P.; TERRIBILE, F. Soil science solutions for advancing SDG 2 towards resilient agriculture. In: LAL, R.; HORN, R.; KOSAKI, T. (Eds.). **Soil and Sustainable Development Goals**. Stuttgart, Germany: Schweizerbart Science Publishers, 2018. p. 196.

BORGES, A. C.; MEDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas par a estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.293-300, 2007.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

CAPORUSSO, N. B.; ROLIM, G. de S. Reference evapotranspiration models using different time scales in the Jaboticabal region of São Paulo, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy** [online], v. 37, n. 1, p. 1-9, Jan. 2015.

CARVALHO, L.G.; ALVES RIOS, G.F.; MIRANDA, W.L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CHAI, T.; DRAXLER, R.R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geoscientific Model Development**, v. 7, n. 3, p. 1247-1250, 2014.

CHARTZOULAKIS, K.; BERTAKI, M. Sustainable water management in agriculture under climate change. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 88-98, 2015. ISSN 2210-7843.

CHAVES, L. H. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Jaboticabal-SP**. 2015. 58 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2015.

CHU, R.; LI, M.; SHEN, S.; ISLAM, A. R. M.; CAO, W.; TAO, S.; GAO, P. Changes in reference evapotranspiration and its contributing factors in Jiangsu, a major economic and agricultural province of eastern China. **Water**, v. 9, n. 7, p. 486, 2017. DOI: 10.3390/w9070486.

COSTA, J. A.; RODRIGUES, G. P.; SILVA, N. D. da; SOBRINHO, O. P. L.; COSTA, L. D. A. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Alagoas. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.1, p.173-179, 2017.

CRUZ, G.H.T.; SANTOS, L da C.; SILVA, S. da C., S. M.; REIS, E. F. dos. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Rio verde - GO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 6, p.1854-1861, 2017.

DALTON, J. Experimental essays, on the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of elastic fluids by heat. 1802. (Sem título).

DANTAS, G. F.; OLIVEIRA, M. R.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; SANTOS, M. G.; FARIA, R. T. T. Desempenho de métodos na estimativa de evapotranspiração de referência para o estado da Paraíba, Brasil. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 481-490, 2016.

DE PAOLA, F.; GIUGNI, M. Coupled spatial distribution of rainfall and temperature in USA. *Procedia Environmental Sciences*, v. 19, p. 178-187, 2013.

DEMSAR, U.; HARRIS, P.; BRUNSDON, C.; FOTHERINGHAM, A. S.; McLOONE, S. Principal component analysis on spatial data: An overview. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 103, n. 1, p. 106-128, 2013.

DOORENBOS, J. Crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, v. 24, 1977.
ECCEL, E. Estimating air humidity from temperature and precipitation measures for modelling applications. **Meteorological Applications**, v. 19, n. 1, p. 118–128, 2012.

FANAYA JÚNIOR, E. D.; SILVA LOPES, A.; OLIVEIRA, G. Q.; JUNG, L. H. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana - MS. **Irriga**, v. 17, n. 4, p. 418-434, 2012.

FENG, Y.; JIA, Y.; CUI, N.; ZHAO, L.; LI, C.; GONG, D. Calibration of Hargreaves model for reference evapotranspiration estimation in Sichuan basin of southwest China. **Agricultural Water Management**, v.181, p.1-9, 2017.

FERNANDES, L. C.; PAIVA, C. M.; ROTUNNO FILHO, O. C. Evaluation of six empirical evapotranspiration equations: case study – Campos dos Goytacazes/RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 272-280, 2012.

FERRONATO, A.; CHIG, L. A.; GOULART, D. B.; CAMPELO JÚNIO, J. H.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Santo Antônio do Leverger-MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, [S. l.], v. 14, n. 1, 2016. DOI: 10.5327/rcaa.v14i1.1418.

GARCIA, B.J.; LOPEZ, D. Formula para el caçulo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N - 15° S). **Agronomia Tropical**, Maracay, v.20, n.5, p.335-345, 1970

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; CECILIO, R. A. COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) PARA LINHARES, ES. **Nucleus** (Ituverava. Impresso) , v. 9, p. 103-112, 2012.

GHAT, I.; MACKEY, H. R.; AL-ANSARI, T. A review of evapotranspiration measurement models, techniques and methods for open and closed agricultural field applications. **Water**, v. 13, n. 18, p. 2523, 2021.

Gocic, M.; Trajkovic, S, Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data, **Computers and Electronics in Agriculture**, v,71, p,158-162, 2010.

HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 1, p. 53-63, 2003

HARGREAVES, G.L.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. Basin. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.111, n.1, p.113-124. 1985

IRMAK, S.; IRMAK, A.; ALLEN, R. G.; JONES, J. W. Solar and net radiation – based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. **Jounal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 5, p. 336-347, 2003.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. **New York: American Society of Civil Engineers**, 1990. 332p.

JENSEN, M.E.; HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.4, n.1, p.15-41, 1963.

KAISER, H. F. An index of factorial simplicity. **Psychometrika**, v. 39, n. 1, p. 31-36, 1974.

LIMA, E. F.; MORAES, R. G. S.; DAMASCENA, J. F.; AMORIM, E. A. de; SANTOS, L. C. dos; COSTA, K. dos S. COMPARISON OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION METHODS, ON DAYS WITH AND WITHOUT PRECIPITATION. **Sci. Agrar**. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 20, n. 1, jan./mar., p. 52-61, 2021

LÓPEZ-URREA, R.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, v. 85, p. 15-26, 2006.

MAČEK, U.; BEZAK, N.; ŠRAJ, M. Reference evapotranspiration changes in Slovenia, Europe. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 260-261, p. 183-192, 2018.

MAHRINGER, W. Verdunstungsstudien am Neusiedler See. Archiv für Meteorologie, **Geophysik und Bioklimatologie**, Serie B, v. 18, n. 1, p. 1–20, 1970. DOI: 10.1007/BF02245865.

MAKKINK, G.F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. **Journal of the Institution of Water Engineers**, New York, v.11, n.3, p.277-288. 1957
MEYER, A. Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. 1926. Dissertação de doutorado, ETH Zurich.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G. de; SILVA, B. B. da; OLIVEIRA, L. M. M. de. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco - Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 181–191, 2013.

LOUDIN, L.; MICHEL, C.; ANCTIL, F. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 1—Can rainfall-runoff models effectively handle detailed potential evapotranspiration inputs? **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.303, n.1-4, p.290-306, 2005.

PANDEY, P. K.; DABRAL, P. P.; PANDEY, V. Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, n. 1, p. 52–63, 2016. ISSN 2095-6339.

PEIXOTO, T. D. C.; LEVIEN, S. L. A.; BEZERRA, A. H. F.; SOBRINHO, J. E. Avaliação de diferentes metodologias de estimativa da ET₀ baseadas no tanque classe A, em Mossoró, RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 58-65, 2014.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. **Mathematical and Physical Sciences**, v. 193, n. 1032, p. 120–145, 1948.

PEREIRA D, R.; YANAGI S, N.M.; MELLO C,R, SILVA,; A,M, SILVA L,A,; Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG, **Cienc Rural** [Internet], 2009 Dec;39(9): 2488–93

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, A.R.; SANTIAGO, A.V.; MAGGIOTO, S.R.; FOLEGATTI, M.V. Problemas operacionais com lisímetros de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.51-6, 2002.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v.100, n.2, p.81-92, 1972

RAJA, P.; SONA, F.; SURENDRAN, U.; PAUL, S. K. Performance evaluation of different empirical models for reference evapotranspiration estimation over Udthagamandalm, The Nilgiris, India. **Scientific Reports**, v. 14, p. 12429, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60952-4>.

RIGONI, E. R.; OLIVEIRA, G. Q. O.; BISCARO, G. A.; QUEIRÓZ, M. V. B. M.; LOPES, A. S. Desempenho sazonal da evapotranspiração de referência em Aquidauana, MS. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 6, p. 547-562, 2013.

ROCHA, R. L. da; SILVA, F. D. dos S.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; GOMES, H. B.; SILVA, M. C. L. da; PINTO, D. D. C.; HERDIES, D. L.; CABRAL, J. B.; PITA-DÍAZ, O. Mudança de longo prazo e regionalização da evapotranspiração de referência no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, spe., p. 891-902, 2020.

SANTANA, J. S.; LIMA, E. F.; FERNANDES, M. A. C.; FONSECA, B. A. S. Desempenho de equações agrometeorológicas para as estações seca e chuvosa para a cidade de Balsas/MA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, p. 605-619, 2019.

SANTOS, A.A.R.; LYRA, G.B.; LYRA, G.B.; LIMA, E.P.; SOUZA, J.L.; DELGADO, R.C. C. Evapotranspiração de referência em função dos extremos da temperatura do ar no estado do Rio de Janeiro. **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 449-465, 2016.

SANTOS, R. D. S.; SOUZA, M. H. C. de; BISPO, R. de C.; VENTURA, K. M.; BASSOI, L. H. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Petrolina, PE. **Irriga**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 31-39, 2017

SCHOLBERG, J. M. **Evapotranspiration of Reference (ET₀)**. Gainesville: University of Florida, 2013. (Agricultural and Biological Engineering Department, EDIS Publication, AE256).

SILVA, J. R.; HELDWEIN, A. B.; HINNAH, F. D.; BRAND, S. I.; PUHL, A. J.; LEONARDI, M. Ajuste de equações de estimativa de evapotranspiração de referência para Bento Gonçalves e Lagoa Vermelha –RS. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 7, p. 3096 -3107, 2018.

SOUZA, A. P., DE ALMEIDA, F. T., ARANTES, K. R., MARTIM, C. C., SILVA, J. O. Coeficientes de Tanque Classe A para estimativa da evapotranspiração de referência diária na região de transição Cerrado Amazônica. **Scientia Plena**, v. 11, n. 5, 2015.

TURCO, J. E. P. Estimativa da evapotranspiração de referência com precisão. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 27, n. 2, p. 132–141, 2019.

VALIANTZAS, J. D. Simple ET₀ forms of Penman's equation without wind and/or humidity data. I: Theoretical development. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 139, p. 1–8, 2013.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R. E. Statistics for the Evaluation and Comparision of Models. **Journal of Geophysical Research**. Ottawa, v.90, n.C5, p. 8995-9005, 1985.

XIMENES, A. R.; SANCHES, F. M.; CASTRO, M. A. de; CORADI, P. C.; CUNHA, F. F. d. UTILIZING SEVAP SOFTWARE TO ESTIMATE THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ON THE MINAS GERAIS STATE. **Nucleus**,v.12,n.1, p.159 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou como as diferentes condições climáticas entre os ciclos produtivos da videira Syrah cultivada sob dupla poda exerceram efeito sobre a evapotranspiração da cultura, coeficiente de cultivo e acúmulo térmico em graus-dias. Mostrando que a irrigação passa a ser extremamente necessária principalmente com a chegada do inverno na região.

Embora alguns métodos consigam ter uma boa estimativa, a calibração dos métodos se mostrou necessária para garantir a precisão das estimativas de evapotranspiração de referência, principalmente em meses que englobam o período do inverno.

Espera-se que a partir desse estudo, possam surgir mais pesquisas visando o estudo da demanda hídrica em vinhos de inverno na região sudeste, bem como estudos que visem o desempenho e calibração de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, para garantia do uso sustentável da água e do manejo racional da irrigação.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 56. Rome: **FAO**, 300p, 1998.
- ALVES, E. S., LIMA, D. F., BARRETO, J. A. S., SANTOS, D. P., SANTOS, M. A. L. Determinação do coeficiente de cultivo para a cultura do rabanete através de lisimetria de drenagem. **Irriga**, Botucatu, 2017. Disponível em <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2238>>
- CAMARGO, D. C. **Manejo da Irrigação: como, quando e quanto irrigar?**. Fortaleza: INOVAGRI/IFCE, 2016. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/conhecerh/bitstream/ana/250/1/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_ANA_MANEJO_IRRIGA%C3%87%C3%82O_2015_VDEB.pdf>
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Irrigação inadequada afeta a produtividade, a qualidade dos frutos e impacta o meio ambiente. **VISÃO AGRÍCOLA (USP / ESALQ)**, v. 14, p. 33-37, 2021.
- CONCEICAO, M. A. F.. **Irrigação**. In: HOFFMANN, A.; SILVEIRA, S. V. da; GARRIDO, L. da R.. (Org.). Produção integrada de uva para processamento: fertilidade e manejo do solo e da água.. 1ed.Brasília: Embrapa, 2015, v. 1, p. 29-39.
- COSTA, M.; VAZ, M.; ESCALONA, J.; EGÍPTO, R.; LOPES, C.; MEDRANO, H.; CHAVES, M. Modern viticulture in southern Europe: Vulnerabilities and strategies for adaptation to water scarcity. **Agricultural Water Management**, 2016, 164, 5–18.
- CUNHA, M. M. **Desenvolvimento de um sistema embarcado para realização de manejo de irrigação**. 2019. 149 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p.
- GAUTAM, D.; OSTENDORF, B.; PAGAY, V. Estimation of Grapevine Crop Coefficient Using a Multispectral Camera on an Unmanned Aerial Vehicle. **Remote Sensing**, v. 13, p. 2639, 2021.
- MEDRANO, H.; TOMÁS, M.; MARTORELL, S.; ESCALONA, J. M.; POU, A.; FUENTES, S.; FLEXAS, J.; BOTA, J. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions: A review. **Agron Sustain Dev**, v. 35, p. 499-517, 2015.
- MUNITZ, S.; SCHWARTZ, A.; NETZER, Y. Water consumption, crop coefficient and leaf area relations of a Vitis vinifera cv. "Cabernet Sauvignon" vineyard. **Agricultural Water Management**, v. 219, p. 86-94, 2019.
- NEUPANE, J.; GUO, W. Agronomic basis and strategies for precision water management: A review. **Agronomy**, 2019, 9, 87.

PIRES, R. C. M.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação de fruteiras subtropicais (citricultura e videira)**. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (Org.). *Diferentes Abordagens sobre Agricultura Irrigada no Brasil*. Piracicaba: Esalq/USP, 2021. p. 461-497.

PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; BASSOI, L. H.; FUJIWARA, M. **Irrigação**. In: Celso Valdevino Pommer (Org.). **Uva tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. 1ed. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003, p. 477-523.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5 ed. Brasília: **Embrapa**, 2018.

SHETTY, D. S.; UPADHYAY, A. K.; KULKARNI, M. V.; SHARMA, J. Biochemical Changes Induced by Varying Irrigation Levels During Annual Growth Cycle in Fantasy Seedless (*Vitis vinifera* L.). *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*.

SILVA, J. G. F.; REIS, E. F. **Café Conilon: Irrigação e Manejo da Água no Café Conilon**. 2°. Ed. Vitória, ES. 2017

UNGUREANU, N.; VLĂDUT, V.; VOICU, G. Water scarcity and wastewater reuse in crop irrigation. **Sustainability** 2020, 12, 9055.

WILLIAMS, L.E.; AYARS, J.E. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. **Agric. Forest Meteorol.**, v. 132, p. 201-211, 2005.