

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FARROUPILHA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA ALEGRETE - RS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**Carine Aires da Silva**

**Alegrete, 2019**

# **COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA ALEGRETE - RS**

**Carine Aires da Silva**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar, RS) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharela em Engenharia Agrícola**

**Orientador: Prof. Dr. Edenir Luis Grimm**

Alegrete, RS, Brasil  
2019

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha  
Universidade Federal do Pampa  
Curso de Engenharia Agrícola**

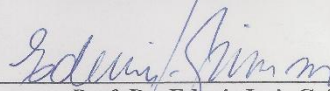
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA ALEGRETE - RS**

Elaborado por  
**Carine Aires da Silva**

Como requisito parcial para a obtenção de grau de  
**Bacharela em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA**



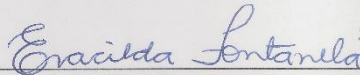
---

**Prof. Dr. Edenir Luis Grimm**  
(Orientador – IF Farroupilha)



---

**Prof. Dr.ª Ana Rita Costenaro Parizi**  
(IF Farroupilha)



---

**Prof. Dr.ª. Eracilda Fontanela**  
(Unipampa)

Alegrete, 2 de Julho de 2019.

## **DEDICATÓRIA**

A minha família que sempre me apoiou e me ajudou na medida do possível, dando-me força quando necessário, possibilitando a chegar no objetivo projetado.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela vida, saúde, família, amigos, por guiar meu caminho e me dar forças para superar as dificuldades.

Aos meus pais, Francisco Pires da Silva e Rosa Aires da Silva e minhas irmãs Deise e Daniele, que sempre me apoiaram e incentivaram, apesar da distância, foram sempre presentes. À minha avó Jesus dos Santos Busnelo que não se faz mais presente, mas sempre acreditou em mim e me fez confiar que meu sonho seria possível.

Aos meus tios Luiz Claro dos Santos Aires e Sônia Mayer Aires pelo amparo e pela ajuda, muito obrigada!

Ao meu namorado Plácido Jorge Dutra de Freitas Jr, pelo companheirismo, incentivo, atenção, amor e amizade.

Ao meu professor e orientador Edenir Grimm pela orientação, incentivo e pelos conhecimentos e aprendizados que obtive.

A prof<sup>a</sup>. Eracilda Fontanela pela dedicação prestada ao longo da graduação.

À Jainara Netto e Simone Almeida por serem meu braço direito, pela amizade e carinho.

## **EPÍGRAFE**

“Nossa maior fraqueza está em desistir.  
O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez.”

**THOMAS EDISON**

## RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso II  
Curso de Engenharia Agrícola  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha  
Universidade Federal do Pampa

### COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA ALEGRETE - RS

AUTORA: CARINE AIRES DA SILVA

ORIENTADOR: EDENIR LUIS GRIMM

Data e local de defesa: Alegrete, 2 de Julho de 2019.

O desempenho dos métodos para estimar a evapotranspiração de referência (ETP) varia em função das condições climáticas locais, sendo este um fator de extrema importância quando se trata do manejo de irrigação de uma determinada cultura. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho dos métodos de evapotranspiração de referência, tomando como base o método padrão de Penman-Montheith-FAO, visando eleger os métodos mais apropriados para Alegrete/RS comparando com os métodos empíricos Jansen-Heise, Tanner e Pelton, Turc e o método do Tanque “Classe A”, além disso determinar e comparar a eficiência dos métodos empíricos com o método padrão de Penman-Montheith-FAO para a região de Alegrete. Foram utilizados dados meteorológicos dos anos de 2015 e 2016 de temperatura média do ar ( $t_{med}$ ), temperatura máxima do ar ( $t_{máx}$ ), temperatura mínima do ar ( $t_{mín}$ ), velocidade do vento medido a 2 metros de altura ( $U_2$ ), umidade relativa do ar ( $UR$ ), precipitação ( $mm$ ) e evaporação do Tanque “Classe A” ( $ECA$ ). O saldo de radiação ( $R_n$ ) foi estimado. Através dos resultados observa-se que os métodos de Jansen-Heise, Tanner e Pelton, Turc apresentaram um desempenho “sofrível” para a região, enquanto o método do Tanque “Classe A” apresentou um desempenho “ótimo”. Para a região em estudo, conclui-se que o método do Tanque “Classe A” pode ser recomendado para o cálculo da evapotranspiração de referência. A determinação da evapotranspiração de referência é considerada um procedimento de extrema importância ao setor agrícola, pois dimensiona o manejo e o sistema de irrigação, podendo ser obtida facilmente em função de ser afetada apenas por fatores climáticos. Desta forma, a escolha do método adequado para a determinação da evapotranspiração é de fundamental importância, sendo necessária a validação dos modelos, caso sejam modelos empíricos.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração de referência. Penman-Montheith-FAO. Métodos empíricos.

# ABSTRACT

Course Completion Work I  
Agricultural Engineering Course  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha  
Universidade Federal do Pampa

## COMPARISON OF EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION METHODS FOR ALEGRETE - RS

AUTHOR: CARINE AIRES DA SILVA

ADVISOR: EDENIR LUIS GRIMM

Alegrete, 2 de Jul de 2019.

The performance of the methods to estimate the reference evapotranspiration (ETP) varies according to the local climatic conditions, being this a factor of extreme importance when it comes to the irrigation management of a given crop. The aim of this work is to evaluate the performance of the reference evapotranspiration methods, based on the Penman-Montheith-FAO standard method, in order to select the most appropriate methods for Alegrete / RS, comparing them with the empirical methods Jansen-Heise, Tanner and Pelton, Turc and the "Class A" tank method, in addition to determining and comparing the efficiency of empirical methods with the standard Penman-Montheith-FAO method for the Alegrete region. Meteorological data from the years 2015 and 2016 were used for mean air temperature ( $t_{med}$ ), maximum air temperature ( $t_{max}$ ), minimum air temperature ( $t_{mín}$ ), wind speed measured at 2 meters high ( $U_2$ ), relative humidity (RH), precipitation (mm) and evaporation of the "Class A" tank (ECA). The radiation balance ( $R_n$ ) was estimated. The results show that the Jansen-Heise, Tanner and Pelton, Turc methods presented a "poor" performance for the region, while the "Class A" tank method performed "optimally". For the region under study, it is concluded that the "Class A" tank method can be recommended for the calculation of reference evapotranspiration. The determination of the reference evapotranspiration is considered a procedure of extreme importance to the agricultural sector, since it measures the management and the irrigation system, being easily obtainable due to being affected only by climatic factors. In this way, the choice of the appropriate method for the determination of evapotranspiration is of fundamental importance, being necessary the validation of the models, if they are empirical models.

**Keywords:** Reference evapotranspiration. Penman-Montheith-FAO. Empirical methods.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dispersão para o método padrão de Penman e método Jansen-Haise .....	22
Figura 2 - Dispersão para o método padrão de Penman e método Tanner e Pelton. ....	24
Figura 3 - Dispersão para o método padrão de Penman e método Turc.....	25
Figura 4 - Dispersão para o método padrão de Penman e método Tanque “Classe A”. ....	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 Objetivo geral.....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1 Evapotranspiração de Referência (ETP).....	14
2.2 Emprego dos métodos de determinação da evapotranspiração.....	15
2.2.1 Métodos Empíricos e Aerodinâmicos.....	15
2.3 Comparação de métodos de determinação da Evapotranspiração de Referência.....	16
2.4 Manejo de irrigação via clima.....	17
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>22</b>
4.1 Método de Jansen-Haise.....	22
4.2 Método de Tanner e Pelton.....	24
4.3 Método de Turc.....	25
4.4 Método Tanque “Classe A”.....	26
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>29</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A irrigação tem sido uma técnica empregada como alternativa para garantir a produção agrícola e a variabilidade dos produtos cultivados, sendo cada vez mais pertinente o conhecimento a respeito da disponibilidade hídrica à cultura, tornando indispensável o uso racional da água.

Segundo Silva & Marouelli (1998), para que se realize um manejo apropriado da água de irrigação, é essencial o controle da umidade do solo e o conhecimento da evapotranspiração durante todo o ciclo da cultura. Para isto, é fundamental que os parâmetros relacionados às plantas, ao solo e ao clima sejam conhecidos, para que seja possível definir o momento adequado de irrigar e a quantidade correta de água a ser aplicada.

A forma usual de se dimensionar a água a ser aplicada ao longo do ciclo de uma cultura é através de processos de evaporação do solo e de transpiração da planta, denominado de evapotranspiração. A evapotranspiração da cultura (ETc) é uma variável da irrigação que necessita dos elementos meteorológicos da cultura e do solo, podendo ser medida diretamente, através de equipamentos denominados como lisímetros, ou indiretamente, fazendo uso de equações combinadas, neste caso, existem vários métodos capazes de estimá-la (CHAVES et al., 2005).

O conhecimento da evapotranspiração das culturas, seja para fins de projeto ou manejo de irrigação, possui fundamental importância frente a cadeia agrícola mundial. Com isso, têm sido realizadas pesquisas que proporcionam um manejo hídrico adequado, possibilitando a sua eficácia e economia em todo o planeta.

A evapotranspiração pode ser determinada como sendo a combinação de dois processos separados, em que a água é perdida por meio da evaporação na superfície do solo e também através do processo de transpiração da planta (ALLEN et al., 1998).

Diante da dificuldade de obtenção da medida direta da ETc e de dados meteorológicos disponíveis, tem-se empregado as equações empíricas, por serem mais simples e práticas para fins de manejo da irrigação. Segundo Doorenbos & Pruitt (1997), a ETc pode ser calculada a partir da evapotranspiração de referência (ETP) e do coeficiente de cultivo (Kc), em seus diferentes estádios fenológicos. Estas informações são de suma importância para o planejamento racional da irrigação (ANDRADE et al., 2013).

Segundo Allen et al. (1998), são diversos os métodos empíricos criados por vários cientistas e pesquisadores, para determinação da ETP, em que utiliza diferentes elementos

climáticos. Entretanto, tais métodos somente serão capazes de estimar de forma satisfatória a evapotranspiração nas condições de clima em que são desenvolvidos e, quando utilizados em condições diferentes, podem proporcionar grandes erros e gerar grandes perdas nas produções ou desperdício de recursos hídricos. Desta forma, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) observou a necessidade de se obter um método padrão que se adaptasse a diferentes localidades e climas e criou o método Penman-Monteith-FAO 56 (PM FAO-56), este recurso foi derivado da equação original de Penman (1948). Embora seja um método complexo, concilia os aspectos aerodinâmicos e termodinâmicos, incluindo a resistência ao transporte de calor sensível e de vapor d'água e a resistência da superfície à transferência de vapor d'água, fatores que nenhum outro método leva em consideração e que proporciona melhor precisão (OLIVEIRA, 2003).

De acordo com Borges & Mendiondo (2007), evapotranspiração é a perda de água de uma superfície com qualquer tipo de vegetação e sob qualquer condição de umidade do solo. Essa é uma variável de extrema importância para a modelagem hidrológica e para a racionalização do uso da água na agricultura. A evapotranspiração de referência é uma variável importante para o dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, pode ser obtida facilmente em função dos fatores climáticos, se os dados meteorológicos estiverem disponíveis.

A determinação da evapotranspiração de referência é considerada um procedimento de extrema importância ao setor agrícola, pois dimensiona o manejo e o sistema de irrigação, podendo ser obtida facilmente em função de ser afetada apenas por fatores climáticos. Desta forma, a escolha do método adequado para a determinação da evapotranspiração é de fundamental importância, sendo necessária a validação dos modelos, caso sejam modelos empíricos.

Para a realização do estudo, foram analisados dados referentes aos anos de 2015 e 2016, devido ao fato de, durante este período, as informações necessárias para a análise probabilística, relativas a temperatura média do ar ( $t_{med}$ ), temperatura máxima do ar ( $t_{máx}$ ), temperatura mínima do ar ( $t_{min}$ ), a velocidade do vento medido a 2 metros de altura ( $U_2$ ), umidade relativa do ar ( $UR$ ), precipitação e radiação solar ( $R_s$ ), apresentarem maior conformidade, possibilitando um melhor entendimento, além de maior credibilidade aos dados empregados no experimento.

## **1.1 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho dos métodos de evapotranspiração de referência, para Alegrete/RS.

## **1.2 Objetivos específicos**

- ✓ Calcular e comparar o método padrão de Penman-Montheith-FAO com os métodos empíricos Jansen-Heise, Tanner e Pelton, Turc e o método do Tanque “Classe A”;
- ✓ Determinar e comparar a eficiência dos métodos empíricos com o método padrão de Penman-Montheith-FAO, para Alegrete/RS;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Dada a importância do uso racional da água e do manejo adequado dos sistemas de irrigação, neste tópico serão abordados e apresentados os principais assuntos relacionados aos métodos de determinação de evapotranspiração, sendo esta, uma das ferramentas para economizar este recurso natural tão valioso.

### 2.1 Evapotranspiração de Referência (ETP)

A evapotranspiração de uma superfície de referência, sem deficiência hídrica, é chamada de evapotranspiração de referência (ETP). Sua definição refere-se a uma suposta cultura, gerada para estudar o poder evaporativo da atmosfera em determinado local e época do ano. Os únicos fatores que afetam a evapotranspiração de referência são parâmetros climáticos, consequentemente, a ETP é calculada a partir de dados meteorológicos (ALLEN et al., 2006).

O conceito de evapotranspiração de referência foi originalmente introduzido para estudar a demanda evaporativa da atmosfera, independentemente do tipo de cultura, fenologia e tratos culturais, sendo um termo mais utilizado em estudos climáticos, por se tratar de um elemento indicativo da demanda hídrica das culturas de um determinado local e período (ALENCAR et al., 2011).

A evapotranspiração de referência é utilizada, entre outros fins, em balanços hídricos e climatológicos, na previsão do desenvolvimento e das safras das culturas, no monitoramento de secas e no estabelecimento de zoneamentos agrícolas (MOTA et al., 1989).

De acordo com Souza et al. (2010), a evapotranspiração de referência é um elemento de significativa importância quanto ao planejamento de irrigação, tendo em vista que esta variável é de fácil obtenção, sendo afetada apenas por fatores climáticos. No entanto, os autores afirmam que, embora existam diversos modelos capazes de estimar a ETP, em diversas situações estes são empregados em condições climáticas e agronômicas destoantes em relação aquelas onde foram inicialmente concebidos. Portanto, é de extrema importância avaliar o desempenho dos modelos antes de utilizá-los em determinada região, para fins de manejo de irrigação.

Dentre as várias técnicas empregadas para estimar a ETP, o método de Penman-Monteith é recomendado pela FAO como o mais adequado e preciso, pois incorpora aspectos termodinâmicos e aerodinâmicos da cultura, considerando as resistências aerodinâmica e da vegetação (ALLEN et al., 2006).

O método de Penman-Monteith FAO (PM-FAO), necessita de variáveis meteorológicas que, muitas vezes, não se encontram disponíveis, sendo assim, pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de avaliar métodos que utilizem menor número de variáveis meteorológicas e apresentem desempenho semelhante ao método padrão.

## **2.2 Emprego dos métodos de determinação da evapotranspiração**

Vários métodos são utilizados para determinar a ETP, os quais, em sua maioria, estimam a evapotranspiração potencial, ou seja, a que ocorre quando não há deficiência de água no solo que limite seu uso pelas plantas. Mas, como é de se esperar, em razão das características intrínsecas de cada cultura, ocorre a variação na evapotranspiração.

Dentre as estratégias adotadas para a definição da evapotranspiração, encontram-se os métodos denominados como empíricos e aerodinâmicos. Em virtude da existência destes métodos, faz-se necessário um estudo de caso baseado nas características edafoclimáticas do local e, por fim, a determinação do método que melhor se enquadre na situação com a qual se pretende trabalhar.

### **2.2.1 Métodos Empíricos e Aerodinâmicos**

Uma ferramenta muito utilizada para obter a evapotranspiração de referência em diferentes locais e situações é por meio de métodos de estimativa. Diversos pesquisadores foram responsáveis pelo desenvolvimento de tais métodos, através de modelos hidrometeorológicos e matemáticos que envolvem uma parcela menor de parâmetros, utilizados em substituição aos métodos de medição direta, devido as limitações de manejo, custo e tempo inerentes a estes métodos (MENDONÇA et al., 2003).

Antes de adotar um método para determinado local, é necessário verificar o funcionamento do mesmo e, quando necessário, fazer calibrações com a finalidade de minorar erros de estimativa. Esse desempenho tem sido analisado através da comparação entre os métodos em estudo e a metodologia de PM-FAO (CONCEIÇÃO; MANDELLI, 2005). Os principais critérios para a escolha devem ser baseados na disponibilidade de dados meteorológicos, onde estes definem o tipo de método que poderá ser empregado em determinado local.

Em geral, os métodos empíricos que utilizam a temperatura do ar, são os mais empregados, em função da temperatura ser uma variável facilmente disponível. No entanto, sua

eficiência deve ser testada para a condição local, visto que esses têm sua aplicação restrita para climas secos ou climas úmidos. Métodos empíricos que levam em consideração a radiação solar, possuem uma eficiência maior, comparados aos anteriores. Os métodos aerodinâmicos, como o método de Penman-Monteith, têm aplicações mais universais.

Os métodos aerodinâmicos dependem do saldo de radiação, que é extremamente importante para estimativa da evapotranspiração de referência (ALLEN et al., 1998). Contudo, na maioria das regiões, este é um dado indisponível, sendo necessário estimá-lo através de equações específicas, o que pode comprometer a eficácia do método. A temperatura, umidade relativa do ar e a velocidade do vento também são necessários, porém, o saldo de radiação ( $R_n$ ) apresenta maior peso na estimativa da ETP por este método.

O método PM-FAO pode variar bastante em função de se utilizar equipamentos de medição ou equações diferentes, o que foi estudado por Turco et al. (2005) em Jaboticabal - SP. Sendo assim, é possível que dados de estimativa da ETP, obtidos a partir do  $R_n$  estimado, podem subestimar ou superestimar os valores desta variável.

O método PM-FAO é bastante utilizado porque facilita o entendimento dos processos físicos da evaporação de superfícies naturais e, também, porque utiliza informações meteorológicas coletadas em um único nível acima da superfície evaporante. Este procedimento é classificado como um método combinado, pois associa os efeitos do balanço de energia e dos termos aerodinâmicos na estimativa da evapotranspiração (JABLON; SAHLI, 2008).

O método original de Penman, a princípio, não é empírico, apenas alguns de seus parâmetros são estimados por fórmulas empíricas, como a função do vento, que utiliza dados coletados em várias condições climáticas (LACERDA, 2012). Portanto, antes de eleger o método a ser utilizado para a estimativa da ETP, deve-se saber quais os elementos climáticos disponíveis e, assim, verificar quais métodos podem ser aplicados, uma vez que a utilização das diferentes práticas para determinado local, fica na dependência dessas variáveis (ARAUJO et al., 2007).

### **2.3 Comparação de métodos de determinação da Evapotranspiração de Referência (ETP)**

A variação da ETP ao longo do ano é regida, basicamente, pela distribuição do saldo de radiação, visto que, este é o principal fator determinante da evapotranspiração. De acordo com Berlato & Molion (1981), os métodos que se baseiam em princípios físicos inerentes ao



processo de evaporação, geralmente exibem um bom desempenho para localidades com diferentes condições climáticas.

Fernandes (2001), empregou os dados coletados em uma estação meteorológica automatizada, instalada em uma área cultivada com soja e verificou que a evapotranspiração real, calculada pelos métodos da razão de Bowen e aerodinâmico simplificado, mostraram correlações altamente significativas entre si e com o método de Penman-Monteith-FAO.

Entre os métodos empíricos baseados na temperatura do ar, o método de Thornthwaite demonstrou um bom desempenho para as condições úmidas do interior paulista, quando comparado com dados obtidos com evapotranspirômetros (CAMARGO; SENTELHAS, 1997). Segundo Conceição (2003), as modificações recomendadas por Camargo et al. (1999), modificando a temperatura média diária pela temperatura efetiva, melhoraram a eficiência do método de Thornthwaite.

O desempenho de métodos de estimativa da ETP nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeiras das Missões – RS, foi avaliado por Pilau et al. (2012) através do ajuste de modelos de regressão entre os diferentes métodos de estimativa da ETP em relação ao método PM-FAO. Nas condições estudadas, os métodos de Makkink e Radiação Solar que incluem dados de radiação solar incidente como variável de entrada, pode substituir o método PM-FAO. Dispondo-se apenas de dados de temperatura do ar para o cálculo da ETP na escala diária, o método de Hargreaves deve ser preferencialmente adotado.

O método Radiação Solar é recomendado quando medidas de velocidade do vento e umidade relativa não estão disponíveis e quando se dispõe de medidas de insolação ou de métodos calibrados de estimativa da radiação (FERNANDES et al., 2010).

Em estudo desenvolvido por Pereira et al. (2009), na região da Serra da Mantiqueira (clima do tipo Cwb, segundo Köppen), com invernos frios e menos úmidos, com verões com temperaturas agradáveis e mais chuvosos, os métodos da Radiação Solar, de Jansen-Haise, de Blaney-Criddle e de Makkink também apresentaram os melhores desempenhos na escala diária, apesar da grande diferença climática da região da Serra da Mantiqueira e a Campanha (clima do tipo Cfa, segundo Köppen).

## **2.4 Manejo de irrigação via clima**

Para Alves Júnior (2006), o manejo da irrigação refere-se à tomada de decisão para sabermos o momento de quando irrigar e a quantidade de água que se deve aplicar. Costa

(2004), diz que quando não ocorre o entendimento correto entre essas duas variáveis, o irrigante faz o uso inadequado da água aplicada, tanto pelo seu excesso ou pelas necessidades da planta.

Com o manejo inadequado, mesmo quando as irrigações são aplicadas em excesso, as plantas podem ser submetidas a déficit hídrico, comprometendo assim seu maior potencial produtivo. Esse fato ocorre quando o produtor aplica quantidades maiores de água do que o solo pode armazenar e fixa turnos de rega espaçados demais entre as irrigações (MAROUELLI et al., 2008).

O manejo da irrigação pode ser realizado via planta, solo, clima ou pela associação destes. Este também pode ser diferenciado nos estádios de desenvolvimento da cultura de acordo com a maior ou menor sensibilidade ao estresse hídrico e seu efeito na produção (PIRES et al., 1999). Dentre os fatores que contribuem para o manejo de irrigação, está a metodologia que, embora disponível, ainda não foi apresentada aos produtores de forma acessível, de modo que, facilite a sua adoção (SILVEIRA e STONE, 2001).

O manejo de irrigação mais utilizado é o via clima, por ele apresentar facilidade na obtenção dos dados necessários, que são variáveis do clima e da cultura empregada, além da facilidade na execução. Os equipamentos que compreendem esse tipo de manejo são: Tanque “Classe A”, estações meteorológicas e os lisímetros (GUERRA, 2015). Para Santos et al. (2004), o Tanque “Classe A” tem sido amplamente utilizado em todo o mundo, devido ao seu custo relativamente baixo, possibilidade de instalação próximo da cultura a ser irrigada e à sua facilidade de operação, aliado aos resultados satisfatórios para a estimativa hídrica das culturas.

Para Bernardo et al. (2009), os métodos de manejo de irrigação via clima são classificados como métodos diretos e métodos de estimativas por meio de informações climáticas. Referindo-se a métodos diretos temos o método dos lisímetros, método das parcelas experimentais e o método do controle da umidade no solo. Os métodos de estimativa por meio de informações climáticas estão enquadrados como métodos aerodinâmicos e empíricos, como Penman-Monteith, Blaney e Criddle, Hargreaves e Tanque “Classe A”, dentre outros.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram coletados através da estação meteorológica pertencente à cidade de Alegrete – RS, cujo código da estação OMM: 86975, posicionada segundo as coordenadas geográficas latitude 29.70° S, longitude 55.52° O e altitude de 121m (INMET, 2018). O município de Alegrete está localizado na região Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, caracterizado por clima do tipo Cfa, subtropical, temperado quente, com chuvas bem distribuídas e estações do ano bem definidas, conforme Moreno (1961).

Foram utilizados dados dos anos de 2015 e 2016 de temperatura média do ar ( $t_{med}$ ), temperatura máxima do ar ( $t_{máx}$ ), temperatura mínima do ar ( $t_{mín}$ ), velocidade do vento medido a 2 metros de altura ( $U_2$ ), umidade relativa do ar ( $UR$ ), precipitação ( $mm$ ), evaporação do Tanque “Classe A” ( $ECA$ ) e radiação solar ( $R_s$ ). O saldo de radiação ( $R_n$ ) foi estimado a partir do roteiro de cálculo proposto por Conceição (2006).

A evapotranspiração de referência foi calculada para os métodos empíricos de Jansen - Heise, Tanner e Pelton, Turc e o método do Tanque “Classe A”. Em seguida, foi realizado a comparação entre o método padrão, Penman-Monteith-FAO e os métodos empíricos. As equações utilizadas estão descritas a seguir:

Método de Jansen-Haise ( $ET_{PJH}$ )

$$ET_{PJH} = R_s * (0,0252 * t_{med} * 0,078) \quad (1)$$

Método de Tanner e Pelton ( $ET_{PTP}$ )

$$ET_{PTP} = 1,12 * \left( \frac{R_n * 100}{4,18} \right) - 0,11 \quad (2)$$

Método de Turc ( $ET_{PT}$ )

$$ET_{PT} = 0,013 * \left( \frac{t_{máx}}{t_{máx} + 15} \right) * \left( \frac{R_s * 100}{4,18} + 50 \right) \quad (3)$$

Método do tanque “Classe A” (*ETPCA*)

$$ETPCA = (Kp) * (ECA) \quad (4)$$

Onde, segundo Snyder (1992) apud Pereira et al. (1997):

$$Kp = 0,482 + 0,024 * \ln(d) - 0,000376 * U_2 + 0,00454 * UR \quad (5)$$

A evaporação foi estimada conforme Rohwer (1931).

$$E = 0,771 * (1,465 - 0,0186 B) * \psi * (es - ed) \quad (6)$$

Em que:

$$\psi = 0,44 + 0,118\omega \quad (7)$$

Onde:

E: taxa de evaporação (pol. dia<sup>-1</sup>);

B: leitura barométrica (pol. Hg);

$\psi$ : Fator de Vento;

es: pressão máxima de vapor (pol. Hg);

ed: pressão de vapor real no ar com base na temperatura média do ar e na umidade relativa (pol. Hg);

$\omega$ : velocidade média do vento em mph.

Os dados de evaporação foram convertidos para mm.dia<sup>-1</sup> para permitir a comparação com as estimativas dos demais métodos, que foram nesta unidade de medida.

Para a estimativa de *ETP* pelo método de Penman-Monteith-FAO utiliza-se a seguinte expressão (ALLEN et al., 1998):

$$ETPPMF = \frac{0,408\Delta (Rn - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (es - ea)}{T + 273}}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (8)$$

Em que:

$\Delta$ : declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa°C<sup>-1</sup>);

Rn: saldo de radiação diário (MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>);

G: fluxo total diário de calor no solo (MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>);

$\gamma$ : coeficiente psicrométrico (kPa.°C<sup>-1</sup>);

$U_2$ : velocidade do vento a 2 m de altura (m.s<sup>-1</sup>);

$e_s$ : pressão de saturação de vapor (kPa);

$e_a$ : pressão atual de vapor (kPa);

T: temperatura média do ar (°C).

Para classificar o desempenho dos diferentes métodos de estimativa da ETP, foi utilizado os critérios do índice de desempenho “c”, proposto por Camargo & Sentelhas (1997), reunindo coeficiente de regressão “r” e o índice de concordância “d”, proposto por Willmott et al., (1985). Para isso, foram calculados em função do coeficiente de correlação (r) e da equação de regressão, onde a ordenada (y) é o valor obtido pelo método de Penman-Monteith-FAO e a abcissa (x) é a estimativa pelos métodos empíricos.

$$c = r * d \quad (7)$$

$$d = 1 - \frac{\sum (O_i - E_i)^2}{\sum (|E_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (8)$$

Onde “ $E_i$ ” é o valor estimado, “ $O_i$ ” o valor observado e “ $O$ ” a média dos valores observados.

Desta forma, os métodos foram classificados conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da ETP, pelo índice “c”.

Valor de "c"	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte – Camargo; Sentelhas (1997).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da estimativa da evapotranspiração pelos métodos descritos, procurou-se identificar a equação que melhor se adaptasse ao método padrão de Penman- Monteith FAO 56, além disso, que envolvesse uma quantidade menor de parâmetros nos cálculos, denotando um bom desempenho para Alegrete/RS.

Na Tabela 2 estão expostos os valores do coeficiente de regressão “r”, o índice de concordância “d” e o índice de desempenho “c” obtidos a partir do produto entre o coeficiente de correlação e o índice de concordância para os métodos especificados.

Tabela 2. Desempenho dos métodos de estimativa da ETP, pelo índice “c”.

Método	r	d	c	Desempenho
Jansen-Haise	0,70	0,78	0,55	Sofrível
Tanner e Pelton	0,62	0,86	0,53	Sofrível
Turc	0,64	0,89	0,57	Sofrível
Tanque “Classe A”	0,97	0,98	0,96	Ótimo

### 4.1 Método de Jansen-Haise

Podemos visualizar através da Figura 1 a relação do método de Penman-Monteith e o método empírico Jansen-Haise.

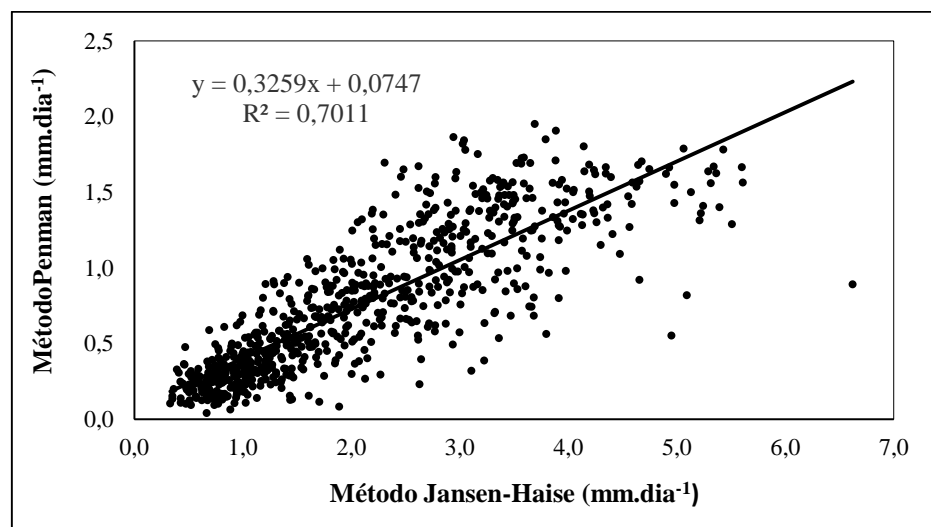


Figura 1 - Dispersão para o método padrão de Penman e método Jansen-Haise.

De acordo com os valores apresentados, verifica-se que o método avaliado apresenta um desempenho denominado como “Sofrível” para a estimativa da ETp, apresentando um desempenho de apenas 0,55.

Segundo Medeiros (2008), a equação do mesmo é utilizada para áreas irrigadas de regiões áridas e semi-áridas, onde a necessidade hídrica das planta é grande e, também, pela simplicidade da equação, não permitindo obter uma grande faixa de condições climatológicas para ser utilizada. Para Silva et al. (2003), esse modelo é simples, necessitando apenas da temperatura média diária e da radiação solar, constituindo um método de fácil aplicação e de resultados razoáveis à condição local.

Os resultados apresentados para o método de Jansen-Haise, para o Município de Botucatu – SP foi classificado como muito bom ARAUJO, (2010). Pereira et al. (2009) chegaram a um resultado semelhante, onde o método de Jansen-Haise foi classificado como ótimo para períodos chuvosos e muito bom para períodos secos, sendo o método mais recomendado para as condições climáticas da região da Serra da Mantiqueira – MG.

Para a região de Rio Paranaíba – MG o método de Jansen-Haise apresentou 0,95 no índice “c” de desempenho, classificado como “ótimo”, sendo o método mais indicado, para a região em estudo, pois este apresenta melhor correlação com o PM-FAO, LIMA, et al.(2010).

Em estudo realizado em Pirai do Sul, Estado do Paraná, o método de Jansen-Haise apresentou um desempenho de igual a 0,91 sendo satisfatório, para a estimativa da ETp e para o local e condições atmosféricas deste estudo (SOUZA, 2011).

Para o município de Sobral, CE, o método de Jansen-Haise também apresentou índice de desempenho “c”, classificado como “Bom”, apresentando índice de desempenho de 0,69, no uso de métodos de estimativa da evapotranspiração que utilizam poucas variáveis para a determinação da ETp, é de grande importância para a região de Sobral, pois facilita o manejo da irrigação para os produtores GONÇALVES et al. (2009).

Cavalcante et al. (2011) constataram desempenho “ótimo” do método de Jansen-Haise para o período seco e “mediano” para o período úmido em Mossoró/RN. Trajkovic & Kolakovic (2009) constataram desempenho mediano do método de Jansen-Haise, sendo o pior resultado dentre as equações empíricas com base na radiação solar para clima úmido na Croácia e Sérvia.

Para a adoção de um método deve-se atentar para as condições e/ou semelhanças climáticas em que ele foi desenvolvido, portanto, concluiu-se que o método de Jansen-Haise não se encaixa para a região.

## 4.2 Método de Tanner e Pelton

A Figura 2 ilustra a relação existente entre a interação dos métodos Penman-Monteith e Tanner e Pelton.

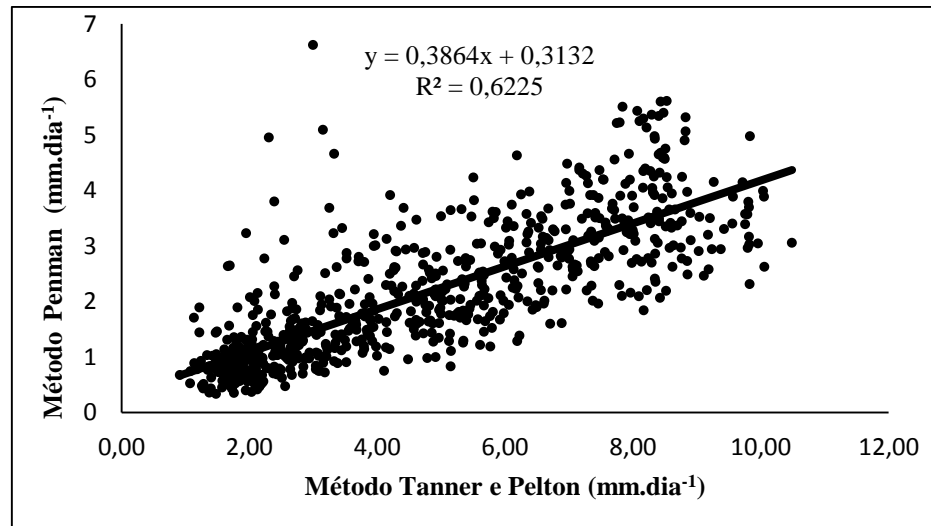


Figura 2 - Dispersão para o método padrão de Penman e método Tanner e Pelton.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 2 o método avaliado apresenta um desempenho de 0,53 considerado “Sofrível” para a estimativa da ETp.

Camargo e Sentelhas (1997), consideram o método de Tanner e Pelton com desempenho mediano para estimativas de ETp no estado de São Paulo. É possível que a diferença de desempenho desse método esteja associada à diferença de condição climática. Segundo Cunha (2013) na cidade de Chapadão do Sul – MS apontam um desempenho “sofrível”, e não deve ser utilizados no Município.

Estudos realizados por Medeiros (1998) na região de Santa Maria – RS, o método de Tanner e Pelton obteve um desempenho “muito bom”, por considerarem o saldo de radiação nas suas estimativas.

Podemos concluir que o método de Tanner e Pelton não obteve um bom desempenho para a região Oeste do Rio Grande do Sul, não podendo ser usado para estimar a ETp.



### 4.3 Método de Turc

Conforme a Figura 3 é possível observar a relação existente entre a interação do método Penman-Monteith e Turc.

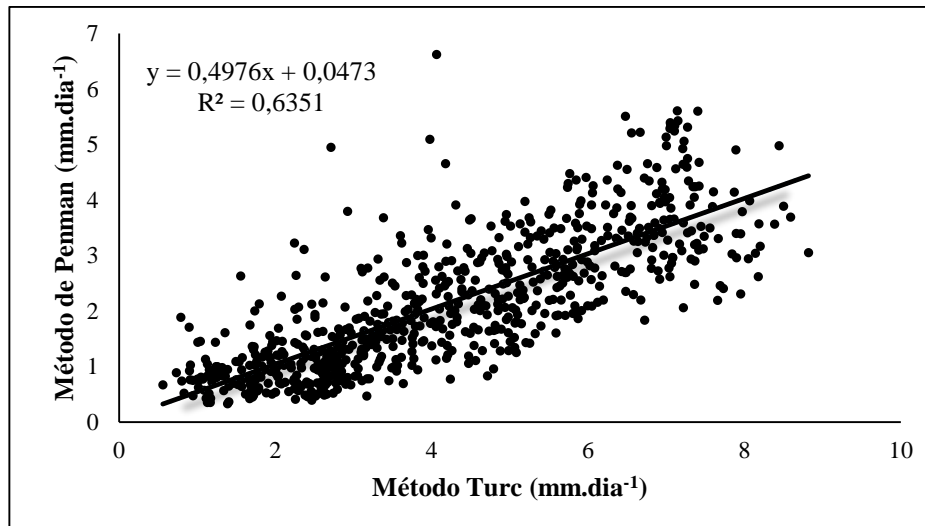


Figura 3 - Dispersão para o método padrão de Penman e método Turc.

O método de Turc atingiu um índice de desempenho de apenas 0,57, sendo classificado como “Sofrível” para o período analisado, nas condições meteorológicas de Alegrete-RS. Uma das explicações para o método empírico de Turc não apresentar um bom desempenho para as condições da região da fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul, pode ser o fato deste método ter sido desenvolvido, de acordo com Fernandes (2010), para regiões costeiras e úmidas.

Cavalcante et al. (2011) em estimativas diárias de ET<sub>p</sub> para a cidade de Mossoró-RN, classificou o método de Turc como pior, este fato está relacionado ao clima das regiões analisadas, classificado como BSw’h’ em RN.

Para o Estado do Espírito Santo, Bragança et al. (2010) o melhor método foi de Turc com ótimo desempenho ( $c = 0,93$ ), com estimativa da ET<sub>p</sub> próximo do obtido pelo método padrão FAO 56-PM. Os resultados permitiram aos autores classificar os métodos pelo coeficiente de desempenho de Camargo e Sentelhas (1997), onde o método de Turc obteve o melhor desempenho ( $c = 0,93$ ).

Considerando a classificação de desempenho desenvolvida por Camargo & Sentelhas (1997), o método de Turc obteve um desempenho “Ótimo” para a região de Piracicaba/SP.

Trajkovic & Kolakovic (2009), na Croácia e Sérvia, avaliaram cinco métodos de estimativa da ETP, sob condições úmidas. O estudo indicou que o método Turc é o mais adequado para estimar a ETP em locais úmidos, quando os dados são insuficientes para aplicar o método PM-FAO. Tabari (2010) avaliou diferentes métodos de estimativa da ETP, em quatro diferentes tipos climáticos no Irã, os resultados mostraram que o método de Turc teve o melhor desempenho em regiões de clima úmido e frio e em regiões áridas.

A região em que o município de Alegrete/RS está inserida, não se enquadra nas condições climáticas desejáveis para um bom desempenho do método empírico de Turc. Portanto, recomenda-se a utilização de métodos empíricos de melhor desempenho, ou o método aerodinâmico Penman-Monteith-FAO, recomendado para todas as condições climáticas, pois considera um maior número de variáveis meteorológicas na estimativa da ETP.

#### 4.4 Método Tanque “Classe A”

A Figura 4 demonstra a relação existente entre a interação do método Penman-Monteith e o método Tanque “Classe A”.

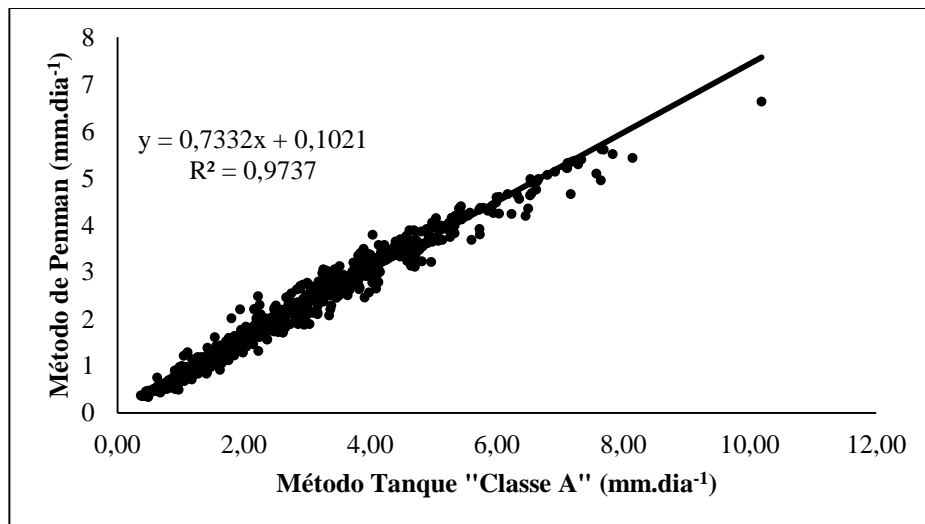


Figura 4 - Dispersão para o método padrão de Penman e método Tanque “Classe A”.

O método Tanque “Classe A” obteve um desempenho de 0,96 sendo classificado como “ótimo” para a estimativa da ETP para Alegrete – RS. Estudo feito por Medeiros (1998) na região de Santa Maria – RS, o método Tanque “Classe A” atingiu um desempenho classificado como “bom”. Carvalho et al (2006), que testaram vários métodos de estimativa da evapotranspiração para região de Seropédica-RJ, apontaram o Tanque “Classe A” como ótimo

desempenho. Oliveira & Carvalho (1998) também verificaram desempenho satisfatório, para o método do Tanque “Classe A”, para estimativas de evapotranspiração para a região de Viçosa, MG.

Mendonça et al. (2003), em estudo da comparação de estimativas de ETp no estado do Rio de Janeiro, também identificou que o método do Tanque “Classe A” apresentou o pior desempenho, este resultado difere daqueles obtidos por Trajkovic e Gocic (2010), com dados do sul da Itália, e por Barros et al. (2009), no Rio de Janeiro, que identificaram os métodos de do Tanque “Classe A” como os mais precisos.

Estudos realizados por Vanzela et al. (2007) na região Sudeste do Brasil foi avaliado o desempenho do método do Tanque “Classe A” para estimar a evapotranspiração de referência para a região de Ilha Solteira-SP. Com a análise dos resultados, os autores concluíram que o método do Tanque “Classe A” apresentou péssimo desempenho para estimar a evapotranspiração para essa região.

Silva et al. (2010) obtiveram um péssimo desempenho desse método em Uberlândia – MG. Isso pode ser atribuído à ocorrência de altas temperaturas aliada a baixa umidade relativa, principalmente no período que antecede o início das chuvas, nos meses de setembro e outubro, e pelos altos índices pluviométricos concentrados no verão.

Podemos concluir que o método do Tanque “Classe A” apresenta um ótimo desempenho para a região, podendo ser usado para estimar a ETp.

## 5 CONCLUSÃO

Através dos resultados encontrados podemos concluir que, os métodos de Jansen-Heise, Tanner e Pelton, Turc apresentaram um desempenho “sofrível” para Alegrete, enquanto que o método do Tanque “Classe A” apresentou um desempenho ótimo.

Para a região em estudo, pode-se recomendar o método do Tanque “Classe A”, por apresentar um bom desempenho para o cálculo da evapotranspiração de referência.

Sendo assim, evidencia-se a importância da avaliação e ajuste dos métodos empíricos de estimativa da ETp antes de sua aplicação, bem como a influência das variáveis meteorológicas consideradas em suas equações.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, L. P. et al. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.19, n. 5, p. 437-449, 2011.

ALLEN, R. G, et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297p.

ALLEN, R. G. et al. **A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method**. Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 1-22, 2006.

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida “Tahiti” a diferentes níveis de irrigação**. 2006. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ANDRADE, A. R. S. de. et al. Estimativa da evapotranspiração e dos coeficientes de cultura para diferentes fases de desenvolvimento da melancia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.5, p.1417-1429. 2013.

ARAUJO, W. F. et al. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referencia (ETP) para Boa Vista, RR**. Caatinga, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.

ARAUJO, E. M.; et al. **Desempenho de métodos de estimativa de ETo correlacionados com a equação padrão Penman-Monteith Fao-56, em cidades do estado de São Paulo**. Revista ACTA Tecnológica, Botucatu., v. 5, n. 2, 18p. 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 625 p.

BERLATO, M. A., MOLION, L. C. B. **Evaporação e Evapotranspiração**. Porto Alegre IPAGRO: Secretaria de Agricultura, RS. 1981. 95 p. (Boletim Técnico, 7).

BORGES A, C; MENDIONDO E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 11, n 3, p.293-300, Mai-Jun 2007.

BRAGANCA, R. et al. **Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência no período chuvoso para o Estado do Espírito Santo.** v. 28, n. 2, p. 21-29, Agosto 2010 .

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMARGO, A. P. et al. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p.252-257, 1999.

CARVALHO, D. F. et al. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica – RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 14, n.2, p. 187-195. 2006.

CHAVES, S. W. P. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, p.262-267, 2005.

CAVALCANTE, E. G.; SOBRINHO, J. E. **Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordestino.** Semina: Ciências Agrárias, v.32, sup.1, p.1699-1708, 2011.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Modelos de estimativa do saldo de radiação na região do Estado de São Paulo.** In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2006, Goiânia.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 303-307, 2005.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa da evapotranspiração com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.229-236, 2003.

COSTA, S. V. **Desenvolvimento e calibração de um mini-tanque evaporimétrico.** 2004. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2004.

CUNHA, F. F. da; et al. **Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul – MS**. Engenharia na Agricultura, Viçosa - MG, v.21, n.2, março/abril 2013.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Trad H. R. Gheyi J. E. C. Metri, F. A. V. Damsceno. Campina Grande: UFPB, 1997. 204p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

EMBRAPA UVA E VINHO. **Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO**. Bento Gonçalves, Dez/2006. Disponível em: < [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/541867/1/cir065.pdf?fbclid=IwAR2YpDkab2i0-uJyF2l3zctcQiN0xfMpA9iWAAa8B0PGhay7qcSvc\\_xwxIh8](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/541867/1/cir065.pdf?fbclid=IwAR2YpDkab2i0-uJyF2l3zctcQiN0xfMpA9iWAAa8B0PGhay7qcSvc_xwxIh8) >. Acesso em: 19 de Novembro de 2018.

FERNANDES, E. J. **Determinação da evapotranspiração real pelos métodos da razão de Bowen e aerodinâmico simplificado**. 2001. 125 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

FERNANDES, D. S. et al. **Evapotranspiração – Uma Revisão sobre os Métodos Empíricos**. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, p.44, 2010.

GONÇALVES, F. M. et al. **Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral – CE**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, v.3, n.2, p.71-77, 2009.

GUERRA, C. P. **Determinação dos coeficientes de cultura e balanço hídrico da cultura do feijão com e sem irrigação suplementar na região de Alegrete, RS**. Trabalho de conclusão de curso. 2015, 87 f (Título de Engenheiro Agrícola). Alegrete, RS, Janeiro, 2015.

INMET. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> >. Acesso em: 11 de Outubro de 2018.

JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 6, p. 707-715, 2008.

LACERDA, Z. C. **Métodos de estimativa da evapotranspiração de Referência para a mesoregião do triângulo Mineiro e alto Paranaíba-MG**. 2012.84f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

LIMA, J. R. A. et al. **Análise comparativa entre os métodos de evapotranspiração de referência em Bebedouro – PE**, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 15p. (Boletim Técnico). 2008.

MEDEIROS, P.V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empírico-teóricas com base na equação de Penman-Monteith**. São Carlos, 2008. 241 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos.

MEDEIROS, S. L. P. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de Referência para a região mesoclimática de Santa Maria - RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 105-109, 1998.

MENDONÇA, J. C et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETP) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 42p. 1961.

MOTA, F. S. da. et al. **O microcomputador na meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1989. 137p.

OLIVEIRA, M. A. A. de; CARVALHO, D. F. de. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 132–135, maio/ago. 1998.

OLIVEIRA, A. D. de. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência utilizando dados de uma estação meteorológica convencional e automática**. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária. Universidade de São Paulo, Jaboticabal.

PEREIRA, D. dos R. et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira-MG. **Ciência Rural**, Sant Maria, v.39, n.9, p.2.488-2.493, 2009.



PILAU, F. G. et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões, RS. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 283-290, 2012.

PIRES, R. C. M. et al. **Agrometeorologia como suporte ao manejo de recursos hídricos e preservação de mananciais**. Centro de Ecofisiologia e Biofísica Instituto Agrônômico. Novembro, 1999.

SANTOS, F. J. S.; et al. **Manejo da irrigação da melancia: uso do tanque classe A**. Circular Técnica. Fortaleza, CE, Dezembro, 2004.

SILVA, T. J. A. et al. **Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina - PE**. Engenharia Agrícola, v.23, n.3, p.511-520, 2003.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo de irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: FARIA, M.A. (Coord.). **Manejo de irrigação**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 311-348.

SILVA, V. J. et al. **Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Uberlândia, MG**. Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2010.

SILVEIRA, P. M; STONE, L. F. Irrigação do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 230p.

SOUZA I. F. de. et al. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 14, p.633-634, 2010.

SOUZA, A. S. P. **Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo de irrigação**. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, p.70, (2011).

TABARI, H. **Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates**. Water Resource Management, Amsterdam, v. 24, n. 10, p. 2311- 2337, 2010.

TRAJKOVIC, S.; GOCIC ,M. Comparison of some empirical equations for estimating daily reference evapotranspiration. **Facta Universitates- Series: Architecture and Civil Eng**, Serbia, v.8, n.2, p. 163-168. 2010.

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. **Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions.** *Water Resources Management*, v.23, p.3057–3067, 2009.

TURCO, J. E. P.; et al. Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 215-228, 2005.

VANZELA, L. S. et al. **Desempenho da estimativa da evapotranspiração de referência em Ilha Solteira-SP.** In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola. 2007, Bonito.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.