

## PROGRAMA PARA CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR MÉTODOS

PATRICK T. VIANA<sup>1</sup>, ANTÔNIO M. M. MEDEIROS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro de controle e automação, Graduando, Escola de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO) Goiânia-Go, (0XX62) 39461390, [patrick.viana@hotmail.com](mailto:patrick.viana@hotmail.com).

<sup>2</sup> Engenheiro Eletricistas, Prof. Doutor, Escola de Engenharia, PUC-GO, Goiânia-Go .

Apresentado no  
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018  
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** Ao preparar um projeto de irrigação utilizam-se cálculos que necessitam de muitas variáveis climáticas e de solo com isso tornando extensos e criando margem a erro. Através dos métodos de Hargreaves, Blaney-Criddle e Penman-Monteith para que demonstrem o cálculo da evapotranspiração utilizado no dimensionamento da irrigação, foi desenvolvido um programa para execução destes cálculos para auxiliar e obter resultados rápido da evapotranspiração. Utilizando uma interface simples e intuitiva, onde são fornecidos os dados com precisão do ETo e ETc, além de cálculos como irrigação real necessária e irrigação total necessária. Estes cálculos sendo imprescindíveis ao preparar um projeto de irrigação, pois estes definem o quanto de água usar e o tempo que será necessário para irrigação. O software além de mostrar os valores de ETo e ETc utilizando tanto em computadores, desktops ou notebooks, os dados servem para alimentar uma central de controle de irrigação que faz a automação da aplicação de água controlando o turno de rega.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação; Turno de Rega, necessidades hídricas.

## SOFTWARE FOR EVAPOTRANSPIRATION CALCULATION BY METHODS

**ABSTRACT:** When preparing an irrigation project, calculations that require many climatic and soil variables are used, thus making them extensive and creating margin for error. Through the methods of Hargreaves, Blaney-Criddle and Penman-Monteith to demonstrate the calculation of the evapotranspiration used in irrigation sizing, a program was developed to perform these calculations to aid and obtain rapid evapotranspiration results. Using a simple and intuitive interface, where ETo and ETc precision data are provided, as well as calculations such as actual irrigation required and total irrigation required. These calculations are essential when preparing an irrigation project, as they define how much water to use and how long it will take for irrigation. The software, besides showing the values of ETo and ETc using both computers, desktops or notebooks, the data serve to feed an irrigation control center that does the automation of the water application controlling the irrigation shift.

**KEYWORDS:** irrigation; Irrigation Turn, water needs

## INTRODUÇÃO

A escassez de mão de obra especializada e a necessidade de uma maior produção nos cultivar para suprir a demanda humana e animal por alimentos são um dos maiores problemas enfrentados pelos produtores rurais. Devido às grandes mudanças climáticas dos últimos anos e por consequência, grande variação na precipitação de chuva e nos índices pluviométricos de: lagos, rios e seus afluentes (BUNINI, 2000).

Estas precipitações de chuvas registraram diferentes anomalias, tantas positivas como negativas ao longo dos últimos anos, e com isto variando o período de estiagem. Estas por sua vez afetam diretamente na atividade da agricultura e por consequência no aumento de plantio utilizando métodos de irrigação<sup>9</sup> (CASTRO, 2003).

A maioria dos sistemas de irrigação montados hoje no Brasil, apresentam um mal dimensionamento e conseqüentemente para estes compensarem algumas destas falhas exigem um tempo maior de funcionamento, gastando energia e água além do necessário (SALASSIER et. al., 2008; SOUZA, 1991)..

O correto dimensionamento através dos métodos de evapotranspiração evita estes desperdícios, ao qual se tornou uma necessidade, tanto pela preservação do meio ambiente e uma economia nos gastos de produção. Com um sistema de irrigação bem dimensionado e controlado, este por consequência aumenta a sua produtividade na área plantada, pois se alinha a necessidade hídrica do cultivo tentando se manter o mais próximo possível do ponto máximo de eficiência da curva deficitária da planta<sup>9</sup>(MANTOVANI et. al., 2012; FRIZZONE, 2017).

O intuito desta pesquisa é desenvolver um software que forneça dados para serem utilizados nos sistemas de automação, que possam ser utilizados na irrigação, fornecendo a quantidade de água necessária, através de dados ambientais coletados periodicamente. O desenvolvimento do software tem como objetivo atender a irrigação por micro aspersão e gotejamento, sendo este utilizado por pequenos e médios produtores rurais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Evaporação é a transferência de água para atmosfera no estado de vapor. Tanto pela evaporação de superfícies líquidas, pela evaporação e superfícies úmidas ou pela transpiração vegetal. O termo evapotranspiração é utilizado para expressar a transferência de vapor de água que se processa para a atmosfera proveniente de superfícies vegetadas. Vários métodos foram propostos para calcular essa evapotranspiração, sendo os utilizados para o desenvolvimento do software: Método de Thornthwaite, método de Blaney-Criddle modificado, método de Hargreaves-samani e o método de Penman-Monteith-FAO (MONTEIRO, 2009; TIBA, 2000).

Método de Thornthwaite (1948), a estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) ou de referência (ET<sub>o</sub>). De acordo com Pereira et al. (1997), a ETP (Equação 2) é tida como a chuva ideal, para que dada região não apresente nem excesso nem deficiência hídrica durante o ano. O emprego deste método acaba sendo limitado, funcionando em áreas gramadas e sem restrições hídricas, em climas úmidos e meses chuvosos. O método de Thornthwaite (ETP<sub>p</sub>) (Equação 1), para um mês de 30 dias e um fotoperíodo igual a 12 horas:

$$ETP_p = 16 * \left(10 * \frac{T_i}{I}\right)^a \quad T_i > 0^\circ C \quad (1)$$

em que,

$$a = 6.75 * 10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 1.7912 * 10^{-2} * I + 0.49239$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \quad T_i > 0^\circ C$$

Para a conversão de ETP<sub>p</sub> em ETP.

$$ETP = ETP_p * \frac{N}{12} * \frac{ND}{30} \quad (2)$$

T<sub>i</sub> - temperatura média de cada mês, °C;

N - fotoperíodo, em horas;

ND - número de dias do mês.

Método de Blaney-Criddle modificado (1983) – A equação original de Blaney-Criddle datada de 1950 e uma das mais empregadas para estimativa da evapotranspiração para regiões de clima semiárido. O boletim da FAO, nº 24 em 1977, apresentou modificações no método original visando aprimorar a estimativa e climas distintos. Esta passou a considerar o efeito da umidade do ar, insolação e velocidade do vento. Frevert et al. (1983), apresenta a última modificação da equação (Equação 3) modificada pela FAO e a sua forma geral é apresentada:

$$ET_o = a + b * p * (0.46 * T + 8.13) \quad (3)$$

em que,

$$a = 0.0043 * UR_{\min} - \left(\frac{n}{N}\right) - 1.41$$

$$b = 0.81917 - 0.0041 * UR_{\min} + 1.0705 * \frac{n}{N} + 0.06565 * U_2 - 0.00597 * UR_{\min} * \frac{n}{N} - 0.00059 * UR_{\min} * U_2$$

p - percentagem mensal de horas de luz solar em relação ao total anual;

T - temperatura média do período, °C;

UR<sub>min</sub> - umidade relativa mínima do período, %;

N - número real de horas de brilho solar;

N - número máximo de horas de brilho solar;

U<sub>2</sub> - velocidade do vento a 2 m, m s<sup>-1</sup>.

Método de Hargreaves-Samani (1985), é uma alternativa viável para a estimativa ET<sub>o</sub> quando há falta de parâmetros climáticos requeridos por outros métodos. O método necessita apenas das temperaturas mínima, máxima, média do ar (Equação 4), o qual vem sendo utilizado devido a sua simplicidade e a potencialidade para calibração de seus parâmetros, podendo fornecer dados confiáveis da ET<sub>o</sub> para o intervalo de períodos curtos ou períodos mais longos.

$$ET_o = 0.0023 * R_a * (T + 17.8) * \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} \quad (4)$$

Em que,

$$R_a = 37.586 * dr * (w_s * \sin\varphi * \sin\delta_s + \cos\varphi * \cos\delta_s * \sin w_s)$$

$$dr = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * J\right)$$

$$J = \text{inteiro}(30.42 * M - 15.23)$$

$$w_s = \arccos(-\tan\varphi * \tan\delta_s)$$

$$\delta_s = 0.4093 * \sin\left(\frac{2\pi}{365} * J - 1.405\right)$$

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

R<sub>a</sub> - radiação no topo da atmosfera, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;

T - temperatura média °C;

T<sub>max</sub> - temperatura máxima;

T<sub>min</sub> - temperatura mínima;

dr - distancia relativa Terra-sol, rad;

w<sub>s</sub> - ângulo horário do pôr-do-sol, rad;

φ - latitude do lugar, rad;

δ<sub>s</sub> - declinação solar, rad;

J - número de dias do ano;

M - mês de referência 1 a 12.

Método de Penman-Monteith-FAO estimativa das necessidades hídricas das plantas pode ser encontrado em Allen et al. (1998), sendo a equação básica da evapotranspiração de referência (Eto) dada pela Equação 5.

$$ETo = \frac{\delta}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{rc}{ra}\right)} * \frac{Rn - G}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{rc}{ra}\right)} * \frac{900}{T + 273.15} * U_2 * DPV \quad (5)$$

em que,

$$\lambda = 2.501 - 2.361 * 10^{-3}T$$

$$\gamma = 0.0016286 * \frac{P}{\lambda}$$

$$P = 101.3 * \left(\frac{293 - 0.0065 * Z}{293}\right)^{5.25}$$

$$ed = ea * \frac{UR}{100}$$

$$DPV = ea - ed$$

$$Rn = Rns - Rnl$$

$$Rns = (1 - \alpha) * Rs$$

$$N = \frac{24}{\pi} * w_s$$

$$Rnl = \left(0.9 * \frac{n}{N} + 0.1\right) * (0.34 - 0.14 * \sqrt{ed} * \sigma(T_{kx}^4 + T_{kn}^4)) * \frac{1}{2}$$

$$G = 0.38 * (T_n - T_{n-1})$$

$$ra = \frac{208}{U_2}$$

ETo - evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C;

λ - calor latente de evaporação, MJ kg<sup>-1</sup>;

rc - resistência dossel da planta, s m<sup>-1</sup>;

Ra - resistência aerodinâmica, s m<sup>-1</sup>;

Rn - saldo de radiação a superfície, MJ m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>;

G - fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>;

γ - constante psicrométrica, kPa °C;

T=temperatura média do ar, °C;

U2=velocidade do vento, m s<sup>-1</sup>;

DPV=déficit de pressão de vapor, kPa;

UR=umidade relativa do ar, %;

Rns=saldo de radiação de ondas curtas, MJ m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>;

Rnl=saldo de radiação de ondas longas, MJ m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>;

α=coeficiente de reflexão da superfície dossel. O valor médio para grama é de 0.23;

Rs=radiação solar incidente, MJ m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>;

σ=constante[4.903 \* 10<sup>-9</sup> MJ m K<sup>-4</sup> d<sup>-1</sup>;

Tkx=temperatura máxima, K;

Tkn=temperatura mínima, K;

Tn=temperatura do dia em, °C;

Tn-1=temperatura do dia anterior, °C;

Rc= resistência dossel da planta, para culturas até 0.12 m seu valor é de 69 s m<sup>-1</sup>.

O programa desenvolvido além de determinar a ETo, também estima o turno de rega o qual é importante para a correta aplicação de água no cultivo. Para determinar o turno de rega é necessário determinar a disponibilidade total de água no solo (Equação 6), a Capacidade real de água que considera a precipitação efetiva (Equação 7), a irrigação total (Equação 8), a quantidade de

águanecessaria a irrigação que depende da eficiência do tipo de irrigação (equação 9), e por fim o turno de rega (Equação 10) que determina de quanto em quanto tempo e realizada a irrigação, ou seja, determina o intervalo entre as irrigações. Essas equações determina a necessidade hídrica do cultivo

- Disponibilidade total de água (DTA), mm.

$$DTA = \frac{Cc - Pm}{100} * dg \quad (6)$$

Em que,

Cc - capacidade de campo, %;

Pm - ponto de murcha, %;

dg - densidade do solo, g cm<sup>-3</sup>.

- Capacidade real de água (CRA), mm.

$$CRA = DTA * P_{ef} \quad (7)$$

Em que,

P<sub>ef</sub>- profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

- Irrigação total (IRN), mm.

$$IRN = CRA * f \quad (8)$$

Em que

f- fator de disponibilidade de água no solo.

- Quantidade total de água (ITN), mm.

$$ITN = \frac{IRN}{Ea} \quad (9)$$

em que,

Ea= eficiência do sistema de irrigação, %.

- Turno de rega, dia.

$$Tr = \frac{IRN}{ETo * Kc} \quad (10)$$

Em que,

Kc - Coeficiente de Cultura.

Foi desenvolvido um programa para gerar os dados de evapotranspiração e turno de rega, em plataforma visual c# 2017, a FIGURA 1 mostra a tela inicial do Programa Irriga onde o usuário seleciona as varias opções, como a determinação da lamina de água e o turno de rega, determinação da ETo pelos vários métodos, o relatório final com o resultado dos cálculos e o cadastro dos clientes e da cultura.



FIGURA 1. Tela principal do programa Irriga.

A Figura 2 mostra a tela de laminas, onde o usuário insere os dados do solo, fator de eficiência do tipo de irrigação utilizado, profundidade efetiva da raiz e Máxima fração de esgotamento da Água disponível do solo. O usuário ao final tem o cálculo do turno de rega para o cultivo.



FIGURA 2. Tela do programa Irriga para o cálculo do turno de rega.

Para a determinação da ETo pelos vários métodos, o usuário entra na tela da evapotranspiração, onde o usuário entra com os dados climáticos da região onde esta o cultivo. O programa calcula a ETo para os diferentes métodos proposto Figura 3.



FIGURA 3. Tela do programa Irriga para o cálculo da ETo pelos vários métodos.

A figura 4 mostra a tela para o cadastro do cliente e da cultura, com todos os dados necessários para a irrigação da cultura.

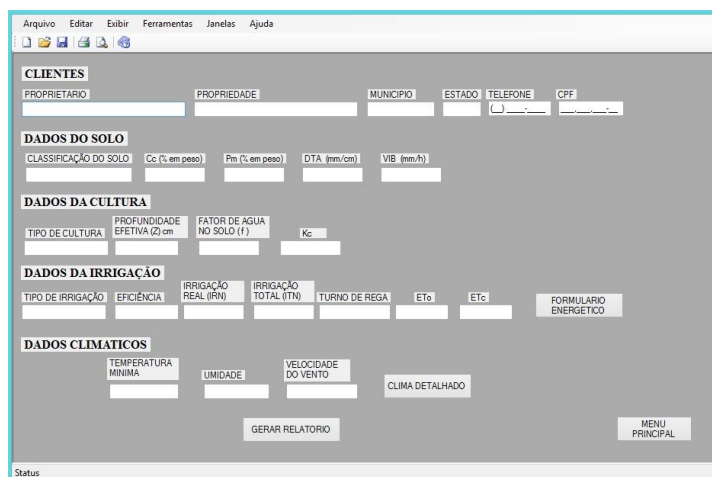


FIGURA 4. Tela do programa Irriga para o cálculo do turno de rega.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este projeto está sendo realizado em uma fazenda localizada no município de Niquelândia no estado de Goiás<sup>9</sup> (INMET, 2017). A classificação do clima é “Aw” de acordo com Köppen-Geiger. A temperatura média anual é 24,6°C em 2016 e a pluviosidade média anual é 1713 mm e presente na latitude -14°28' longitude -48°27' e uma altitude de 583 m. O tipo de solo é franco argila arenoso com 67% de areia 26% de argila e 7% de limo (CPTEC/INPE, 2017). As tabelas abaixo representam os dados climatológicos utilizados no software para a determinação da evapotranspiração de referencia e o turno de rega (CLIMATE-DATA, 2017; TIBA, 2000), Tabela 1, representa os dados do coeficiente de cultura KC utilizado para mandioca 1 e 2 anos de cultivo, Tabela 2 tem os dados da profundidade efetiva da raiz e Máxima fração de esgotamento da Água disponível do solo, Tabela 3 fornece os dados do tipo de solo encontrado na região do estudo do cultivo, Tabela 4 Dados climatológicos com as medias anualizadas de 2016/2017, utilizados no software como temperatura, umidade, insolação, velocidade do vento.

TABELA 1. Coeficiente de cultivo (Kc).

	Início	Meia-estação	Final
Citros	x	x	0.85 – 0.9
Mandioca 1º ano	0.3	0.8	0.3
Mandioca 2º ano	0.3	1.1	0.5

\*Início, refere-se ao período de semeadura de 10 % de cobertura do terreno.

\*\*Meia-estação, período de 100% de cobertura do terreno até a início da maturação.

\*\*\*Final, fim da maturação para plantas perenes.

TABELA 2. Profundidade efetiva da raiz e Máxima fração de esgotamento da Água disponível do solo(f).

	Profundidade máxima das raízes(m)	Fração (f) de água disponível para ETc=5mm/d
Citros	1.1-1.5	0.5
Mandioca 1º ano	0.5-0.8	0.35
Mandioca 2º ano	0.7-1.0	0.4

TABELA 3. Dados do tipo de solo encontrado na região do estudo do cultivo.

Solo	Sat (m3 m-3)	Cc (m3 m-3)	Pmp (m3 m-3)	DTA (mm m-1)	dg (g/cm <sup>3</sup> )
Franco-argila arenoso	0,47-0,51	0,32-0,40	0,16-0,22	160-180	1.5

Franco arenoso	0.34-0.51	0.17-0.26	0.06-0.13	110-130	1.4-1.6
Argila arenoso	0.47-0.53	0.28-0.40	0.19-0.30	90-100	1.25-1.35

TABELA 4. Dados climatológicos com as medias anualizadas de 2016/2017, utilizados no software.

Dado climáticos utilizados	Media anualizada 2017/2016
Temperatura media(°C)	24,87
Temperatura.mínima. (°C)	17,72
Temperatura máxima.(°C)	34,14
Umidade media (%)	59,82
Chuva (mm)	106,98
Vento media (m/s)	1,86
Ponto de orvalho (°c)	15,23
Pressao (hPa)	938,78
Insolação (H)	6,70
Radiação (MJ/m <sup>2</sup> .d)	16,67
Percentagem mensal das horas de luz solar anual – Latitudes de 15° sul	0,27
Percentagem mensal das horas de luz solar anual – Latitudes de 20 ° sul	0,27
Duração máxima de insolação diária média(N), Latitudes de 14 ° sul	12,11
RADIAÇÃO Extraterrestre (Ra) (mm/d), Latitudes de 14 ° sul	14,44

As figura 5 e 6 mostram os resultados do cálculo da ETo para os métodos Thornthwaite, Blaney-Cridle, Hargreaves-samani e Penman-Monteith-FAO, para cada mês gerados pelo programa desenvolvido.

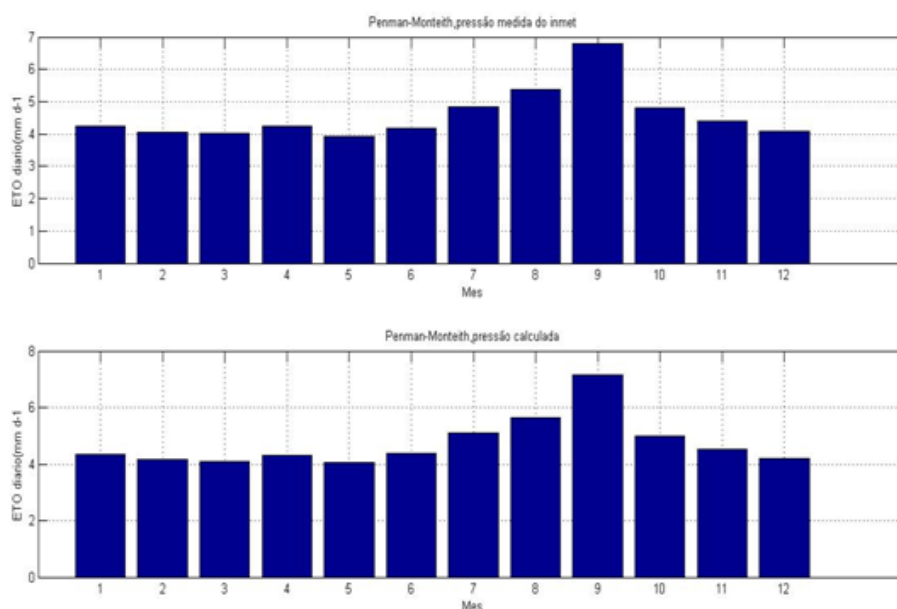


FIGURA 5. Resultados da ETO pelo método Penman-Monteith para pressão atmosférica medida pelo INMET e calculada.

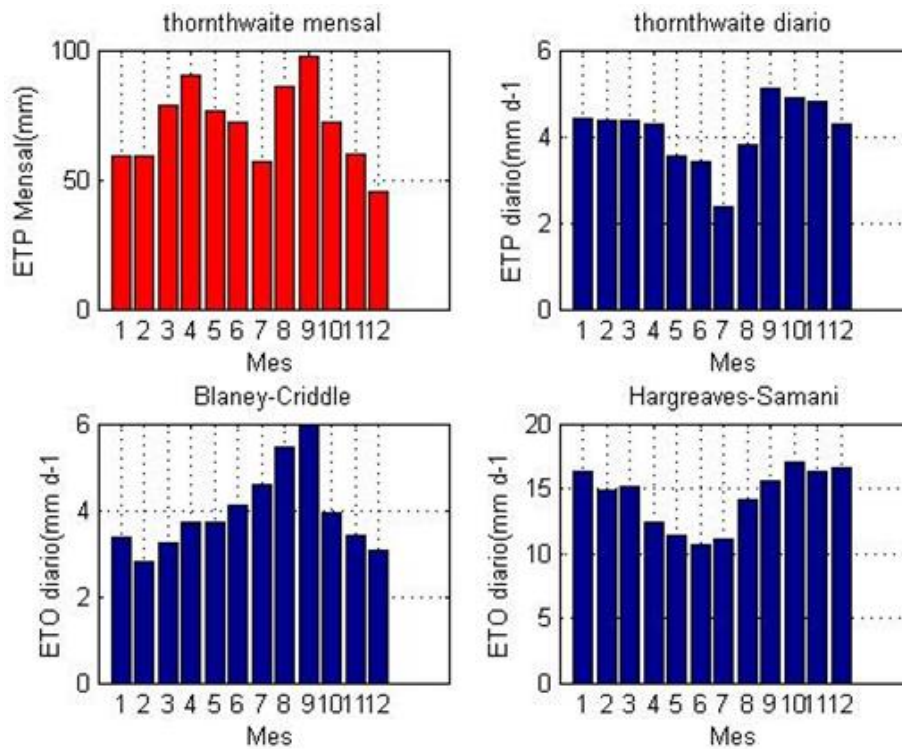


FIGURA 6. Resultados da ETO pelos métodos Thomthwaite, Blaney-Criddle,Hargreaves-Samani. A Figura 7 mostra o turno de rega gerados pelo programa desenvolvido, para os meses com necessidade de irrigação.

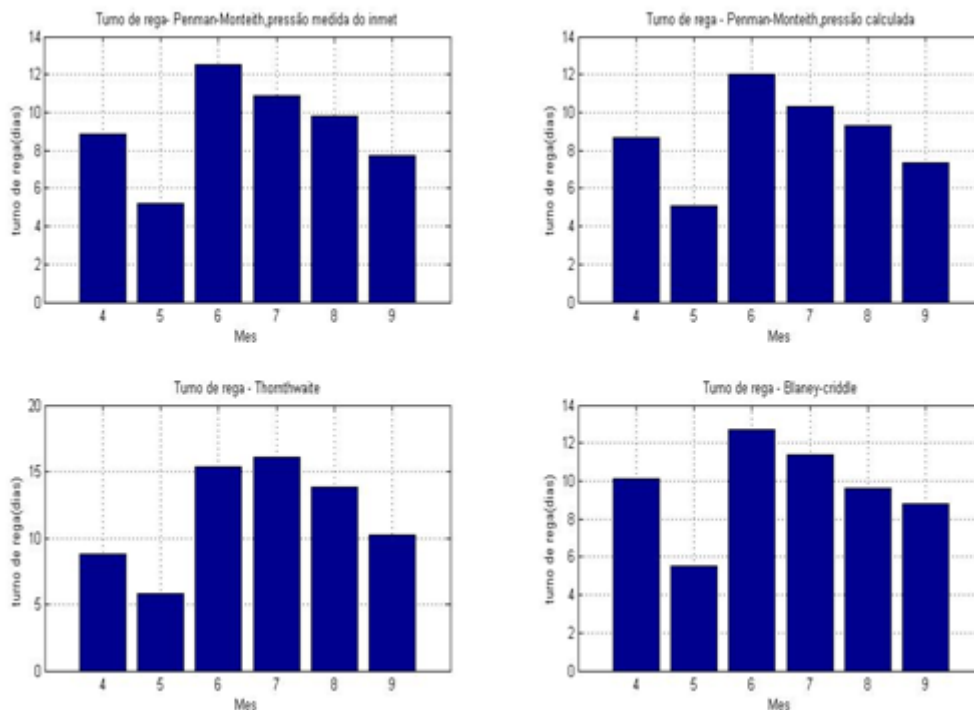


FIGURA 7. Resulta do turno de rega para os diferentes métodos utilizados.

## CONCLUSÃO

Este trabalho propôs uma maior precisão no cálculo da evapotranspiração onde foram analisados dados climáticos de um período de 30 anos da região e comparados com os dados de

janeiro 2016 até setembro 2017, do local onde será implementado a irrigação automatizada. Foram calculados medias mensais de temperatura, umidade, ponto de orvalho, velocidade do vento, precipitação e pressão, radiação solar e outras variáveis que são necessárias para os métodos de evapotranspiração apresentados.

Nos métodos apresentados ocorreram variações nos valores de evapotranspiração e por consequência no turno de rega. Todos os métodos foram calculados por um programa desenvolvido especialmente para esta função, onde apresenta tanto os valores em formato de tabela como também em gráficos. Este podendo ser usado para qualquer região, caso possua os dados climáticos ou outras variáveis necessárias.

No turno de rega, notamos uma necessidade de irrigações suplementares, pois as precipitações não foram suficientes para as necessidades hídricas do cultivo.

Com esses valores de evapotranspiração e turno de rega mais precisos, obteremos melhores resultados na implementação do sistema automatizado na irrigação, e com isso, visando um melhor aproveitamento da água utilizada e por consequência um menor gasto energético.

Com cálculos mais precisos poderemos tirar um melhor proveito da curva deficitária da planta e aumentar a produção deste cultivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BUNINI, O. **Quantificação das necessidades hídricas de culturas para manejo da irrigação,** FUNDAG-FEHIDRO, Centro de ecofisiologia e biofísica instituto agrônômico, 2000,16p.
- CASTRO, N. **Apostila de irrigação (IPH 02 2007),** Universidade federal do rio grande do sul, instituto de pesquisas hidráulicas, 2003, 56p.
- CLIMATE-DATA. **Dados climáticos niquelândia,** Disponível em <<https://pt.climate-data.org/location/33781/>> Acesso em: 22 de set. 2017.
- CPTEC/INPE. **Dados de precipitação diária: regio 92 (2000 – 2017),** Disponível em <<http://clima1.cptec.inpe.br/estacaochuvosa/pt>> Acesso em: 22 de set. 2017.
- FRIZZONE, J. A. **Necessidade de água para irrigação,** ESALQ/USP, Departamento de Engenharia de Biosistemas, piracicaba, SP, 2017, 56p.
- INMET. **Dados climáticos (2013-2017),** Estações e dados, Dados em gráficos, estações automaticas, niquelândia. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br>> Acesso em: 22 de set. 2017.
- MANTOVANI, E. C.; SALASSIER, B.; PALARETTI, L. F. **Irrigação princípios e métodos,** 3ª ed., UFV, 2012 , 355p.
- MELLO, J. L. P.; SILVA, L .D. B. **Irrigação,** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia, Rio de Janeiro, Agosto , 2008.
- MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos, Instituto Nacional de Meteorologia,** Brasília, DF, 2009, 546p.
- PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N.A.; SEDYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. ESALQ. Piracicaba-SP, 1997.183p
- SALASSIER, B.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação,** 8ª ed., UFV, 2008, 625p.
- SOUZA, F. N. **Guia pratico de irrigação por aspersão,** Coleção brasil agrícola, Icone, 1991, 69p.
- SOUZA, R. O. R. M. **Irrigação e Drenagem,** UFRA, Instituto de ciências Agrárias, Belém-PA, 2009, 149p.
- TIBA, C. **Atlas Solarimetrico do Brasil,** UFPE, Depto de energia Nuclear, recife, PE, 2000,116p.