

## DOIS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E ÍNDICES DE ESTRESSE HÍDRICO EM CEBOLA IRRIGADA

PAULO JOSÉ DESIDÉRIO DE OLIVEIRA<sup>1</sup> E JOSE EDUARDO PITELLI TURCO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutor em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, Km 5, CEP: 14884-900, Jaboticabal - SP, Brasil, e-mail: fluirti@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural, FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, Km 5, CEP: 14884-900, Jaboticabal - SP, Brasil, e-mail: jose.turco@unesp.br

### 1 RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito de dois métodos para cálculo da evapotranspiração de referência e a determinação do índice de estresse hídrico da cultura, sobre a produção de bulbos de cebola, irrigadas por aspersão. O experimento foi conduzido durante o período de abril a setembro de 2017, no sítio Santo Antônio, município de Monte Alto, São Paulo, Brasil. O delineamento experimental foi em blocos com repetições, constituído em dois tratamentos: T1 e T2, com irrigações baseadas na evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves e pelo método de Penman-Monteith, respectivamente. Cada tratamento foi dividido em quatro blocos para medições de tensão de água no solo e cada bloco com quatro repetições para medições de índice de estresse hídrico da cultura. Com os resultados concluiu-se que no T1 aplicou-se maior volume de água, mas não houve diferença significativa da produtividade. A variabilidade dos índices de estresse hídrico em todos os blocos foi de 1,9 °C a 2,4 °C, prevalecendo maiores valores no T2, onde foi aplicado menor volume de água. Para toda a área, o índice de estresse hídrico em 1,9 °C correspondeu a 50% da capacidade de água disponível no solo.

**Palavras-chaves:** água e solo, termômetro infravermelho, déficit hídrico.

**OLIVEIRA, P. J. D. de; TURCO, J. E. P.**

### TWO EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE ESTIMATION METHODS AND WATER STRESS INDEX IN IRRIGATED ONION

### 2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of two methods to calculate the reference evapotranspiration and the determination of water stress index of the crop on the production of onion bulbs irrigated by sprinkling. The experiment was conducted from April to September 2017, at Santo Antônio site, Monte Alto municipality, São Paulo, Brazil. The experimental design was in blocks with repetitions, consisting of two treatments: T1 and T2, with irrigations based on the reference evapotranspiration by Hargreaves method and Penman-Monteith method, respectively. Each treatment was divided into four blocks for soil water stress measurements and each block with four replicates for measurements of water stress index of the crop. With the results it was concluded that in T1, a higher water volume was applied, but

there was no significant difference in productivity. The variability of water stress indices in all blocks was 1.9 ° C to 2.4 ° C, with higher values prevailing in T2, where a lower volume of water was applied. For the whole area, the water stress index at 1.9 ° C corresponded to 50% of the available water capacity in the soil.

**Keywords:** water and soil, infrared thermometer, water deficit.

### 3 INTRODUÇÃO

A equação de Penman-Monteith FAO-56 é padrão para estimar a Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>) quando se utiliza todas as variáveis exigidas pelo método, com valores confiáveis tais como: temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento (LIMA JÚNIOR et al., 2016). Entretanto, há um número limitado de estações meteorológicas nas quais estas variáveis são medidas de modo eficiente e facilmente disponíveis, justificando a necessidade de métodos alternativos que demandem menos quantidade de variáveis meteorológicas para estimar a ET<sub>o</sub> (FERNANDES et al., 2012). Moura et al. (2013) em estudos para determinar a ET<sub>o</sub> por métodos indiretos em várias escalas de tempo, concluíram que o método de Hargreaves produziu bons resultados.

El Balla, Hamid e Abdelmageed (2013), consideram a cebola a segunda hortaliça mais valiosa do mundo, atrás apenas do tomate. Cultivada por pequenos e médios produtores principalmente nas regiões sul sudeste e nordeste, no Brasil a produção média em 2017 foi estimada em aproximadamente 1,72 milhão de toneladas em 58 mil hectares cultivados, com produtividade média de 29,645 kg há<sup>-1</sup>, (IBGE, 2017).

Devido a sua sensibilidade ao déficit hídrico, principalmente na fase de formação dos bulbos, pesquisas sobre a irrigação da cultura da cebola destacam que a produtividade de bulbos é altamente dependente da quantidade de água aplicada (VILAS BOAS et al., 2012). Shock, Feibert

e Saunders (2000) afirmam que o correto manejo da irrigação da cebola colabora intensamente para a boa produtividade e enfatizam que o teor de água abaixo da capacidade de campo pode causar a redução da produtividade, ou a inviabilização da cultura.

Plantas em estresse hídrico tendem a fechar seus estômatos, reduzindo a taxa transpiratória, e conseqüentemente, elevando a temperatura foliar para uma grande variedade de culturas, de 12 °C abaixo a 6 °C acima da temperatura do ar (JONES et al., 2002).

Com a evolução das pesquisas, o uso de termômetro infravermelho como instrumento para ajudar o manejo da água de irrigação tem crescido (FERNANDES, 2010; TRENTIN et al., 2011). Pesquisas científicas para adaptar o método do índice de estresse hídrico da cultura (IEHC), em diferentes cenários produtivos, são de fundamental importância para o manejo de culturas agrícolas (MAZARON; TURCO; SILVA, 2016). Brunini e Turco (2018) declaram que a termometria infravermelha tem vantagens em relação a técnicas convencionais de detecção do déficit hídrico das culturas devido ao baixo custo do termômetro infravermelho portátil e a rapidez com que as medidas de temperatura do dossel vegetativo podem ser obtidas com este equipamento.

Com este trabalho o objetivo foi avaliar o efeito de dois métodos para cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e a determinação do índice de estresse hídrico da cultura (IEHC), sobre a produção de bulbos de cebola, irrigadas por aspersão.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo durante o período de abril a setembro de 2017, no sítio Santo Antônio, município Monte Alto, nordeste do estado de São Paulo, Brasil, tendo como referência as seguintes coordenadas geográficas: latitude 21° 15' S, longitude 48° 29' W e altitude de 735 m.

O clima é classificado, segundo Köppen, como subtropical com inverno seco (CWA), com precipitação média anual de aproximadamente 1441 mm, com distribuição concentrada no período de outubro a março e relativa seca no período de abril a setembro. A temperatura média máxima estimada é de 31,6 °C, e mínima de 17,9 °C. Na área experimental predominam os solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, classificado de acordo com (EMBRAPA, 2006).

A cultura instalada na área experimental foi cebola (*Allium cepa* L.), cultivar híbrida Aquarius F1/H, com 90% de germinação estimada, considerada de dias e ciclo curto de produção. O sistema de produção foi o de transplante de mudas, com alturas médias de 0,20 m em canteiros de 1,00 m de largura, altura média de 0,20 m, com distribuição média de 68 plantas m<sup>2</sup>.

Foram realizadas análises químicas, para avaliação das necessidades de calagem e adubação do solo que recebeu os preparos e tratos culturais necessários para a instalação e manutenção da cultura.

Foi utilizado um Pivô Central da marca Krebs®, com linha lateral de 170 m de comprimento para aplicação da água nas irrigações.

Para o levantamento da área foi utilizado um equipamento GNSS marca Trimble, modelo R6, e elaborado o mapeamento para instalação do experimento (Figura 1), onde foram demarcadas duas parcelas que receberam dois tratamentos para diferentes regimes de irrigação: Tratamento 1 (T1), irrigação efetuada com base na estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves (HG) e Tratamento 2 (T2), irrigação efetuada com base na estimativa da evapotranspiração de referência pelo método padrão Penman-Monteith (PM).

Foram demarcados quatro blocos para cada tratamento (T1 e T2) para a avaliação da tensão de água no solo e quatro repetições em cada bloco para a obtenção das leituras das temperaturas do ambiente e da cobertura vegetal.

**Figura 1.** Mapa da área experimental com dois tratamentos para irrigação.



Foram realizadas análises físico-hídricas com amostras indeformadas do solo coletadas em três pontos da área experimental, em duas profundidades cada ponto, de 0 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m, e obtidas as curvas características de retenção de água de cada ponto.

Objetivando-se relacionar a água disponível no solo com os índices de estresse hídricos, em cada bloco de cada tratamento foi instalada uma bateria com dois tensiômetros com vacuômetro, nas profundidades de 0,20 m e 0,40 m. O preparo e instalação dos tensiômetros foram realizados conforme (MAROUELLI, 2008; BISPO et al., 2017).

Para as profundidades de 0,20 e 0,40 m o potencial matricial da água no solo foi convertido em umidade utilizando a seguinte expressão matemática desenvolvida por Van Genuchten (1980), descrita por Dourado Neto et al. (1995), Equação 1, considerando que para a umidade de capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) a tensão da água no solo é 103,32 cmH<sub>2</sub>O e umidade atual ( $\theta_A$ ) obtida diariamente com a tensão da água a partir das leituras dos tensiômetros.

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

Os valores das constantes empíricas da Equação 1, e as demais características físico-hídricas do solo da área, como valores médios para as camadas de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m de profundidade, podem ser observados na Tabela 1.

Foram determinadas a capacidade de água disponível no solo (CAD, em mm), a água facilmente disponível no solo (AFD, em mm) e a reserva de água disponível no solo (RAD<sub>f</sub>, mm) pelas seguintes Equações 2, 3 e 4:

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot Z \quad (2)$$

$$AFD = 0,5 \cdot CAD \quad (3)$$

$$RAD_f = (CAD - AFD) \quad (4)$$

Em que:

$\theta_{cc}$  - umidade do solo cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> à capacidade de campo (potencial de – 103,32 cmH<sub>2</sub>O);

$\theta_{pmp}$  - umidade do solo cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> no ponto de murcha permanente para o potencial mátrico de 15498,41 cmH<sub>2</sub>O;

Z - profundidade efetiva do sistema radicular da cultura.

**Tabela 1.** Características físico-hídricas e constantes da Equação 1, para as camadas de 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m de profundidade do solo em três pontos da área experimental.

P	Profundidade (m)	$\theta_{cc}$	$\theta_{pmp}$	$\theta_c$	ds	$\theta_r$	$\theta_s$	A	n	M
1	0,00 - 0,20	0,089	0,000	0,089	1,62	0,000	0,160	0,039	3,065	0,673
	0,20 - 0,40	0,031	0,010	0,021	1,67	0,010	0,140	0,026	2,783	0,640
2	0,00 - 0,20	0,025	0,010	0,015	1,64	0,010	0,140	0,037	2,531	0,604
	0,20 - 0,40	0,012	0,010	0,002	1,63	0,010	0,150	0,038	3,873	0,741
3	0,00 - 0,20	0,090	0,060	0,030	1,44	0,060	0,220	0,03	2,419	0,586
	0,20 - 0,40	0,063	0,050	0,013	1,34	0,050	0,230	0,038	2,888	0,653

P – Pontos das curvas de retenção na área experimental;  $\theta_{cc}$  – umidade do solo à capacidade de campo (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);  $\theta_{pmp}$  – umidade do solo no ponto de murcha permanente (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);  $\theta_c$  – umidade crítica do solo (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>); ds – densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>);  $\theta_r$  – umidade residual do solo (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);  $\theta_s$  – umidade do solo saturado (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);  $\alpha$ , n e m – coeficientes de ajuste da equação.

Fonte: Do autor (2017).

Os dados meteorológicos foram obtidos em uma estação meteorológica automática instalada na área experimental, da marca Campbell Scientific, equipada com sensores para obtenção de dados de temperatura e umidade relativa do ar, psicrômetro de termopares do tipo T desenvolvido por Turco e Fernandes (2003); velocidade do vento, modelo 03001 RM Young Co; e radiação solar global, modelo CM3 Kipp&Zonen cujos dados foram tratados conforme Turco e Carleto (2017), e em um termo-higrômetro digital marca Instrutherm, modelo HT-700 com exatidão de  $\pm 1,0$  °C e resolução de 0,1 °C para temperaturas, instalado em abrigo.

O controle do manejo da irrigação iniciou após o transplante das mudas nos tratamentos, com turno de rega variando de 2 e 3 dias em período noturno, conforme a demanda hídrica da cultura em cada ciclo fenológico.

Para determinar quanto irrigar foi utilizado o método de Hargreaves para o tratamento T1 (Hargreaves, 1994), e Penman-Monteith para o tratamento T2 (Allen et al., 2006).

Hargreaves (1994) propôs para o cálculo da evapotranspiração de referência, a Equação 5.

$$ET_{oHG} = 0,0023 RA (T^{\circ}C + 17,8) TD^{HE} \quad (5)$$

Em que:

$ET_{oHG}$  - evapotranspiração de referência, em gramado,  $mm \text{ dia}^{-1}$ ;

RA - radiação solar extraterrestre ( $mm \text{ dia}^{-1}$ );

$T^{\circ}C$  -  $(T_{max} + T_{min})/2$  (temperatura máxima diária do ar mais a temperatura mínima diária do ar, em °C, dividido por dois);

TD -  $T_{max} - T_{min}$  (temperatura máxima diária do ar menos a temperatura mínima diária do ar, em °C);

HE - expoente empírico (0,5).

Para o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método padrão FAO 56, Allen et al., (2006) propuseram o que segue na Equação 6.

$$ET_{o-PM} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right)^v (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34v)} \quad (6)$$

Em que:

$ET_o$  - evapotranspiração de referência, em gramado,  $mm \text{ dia}^{-1}$ ;

$R_n$  - radiação líquida,  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;

G - fluxo de calor no solo,  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;

T - temperatura média do ar, °C;

V - velocidade média do vento a 2m de altura,  $m \text{ s}^{-1}$ ;

$(e_s - e)$  - déficit de pressão de vapor, kPa;

$\Delta$  - curva de pressão de vapor,  $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ ;

$\gamma$  - constante psicrométrica,  $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ ;

900 - fator de conversão.

Diversas pesquisas publicadas apontaram que apesar da tendência do método de Hargreaves superestimar a  $ET_o$  com relação ao método padrão de Penman-Monteith, o seu uso é viável pela menor quantidade de variáveis requerida, praticidade de cálculo e resultados finais encontrados (CONCEIÇÃO, 2013; BORGES; MEDIONDO, 2007).

A evapotranspiração da cultura foi obtida por meio da evapotranspiração de referência e dos coeficientes da cultura aplicados em cada fase de desenvolvimento, de acordo com Allen et al. (2006), adaptado de Marouelli, et al., (2005), demonstrados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Coeficiente de cultura (Kc) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da cebola para sistema de irrigação por aspersão.

Estádio Fase	Kc	Nome	Descrição	Duração (dias)	Período (datas)	
0	1,05	Sementeira	Formação de Mudas	45	15/abr	30/mai
I	0,85	Inicial	Transplante e estabelecimento das mudas	20	31/mai	20/jun
II	0,85	Vegetativo	Fim do inicial até o início da bulbificação	20	21/jun	11/jul
III	1,05	Bulbificação	Fim do vegetativo até o início da maturação	25	12/jul	06/ago
IV	0,75	Maturação	Fim da bulbificação até a colheita	25	07/ago	06/set

Para obter e avaliar o índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) da cebola, em cada tratamento, foi utilizado um termômetro digital portátil marca Minipa, modelo MV-363, e um termômetro de infravermelho, portátil, marca FLUKE, modelo 62 MAX<sup>+</sup>, calibrados com um termômetro de mercúrio (precisão  $\pm 0,1$  °C), respectivamente (Fernandes, 2010). A calibração foi realizada no Laboratório de Instrumentação, Automação e Processamento (LIAP) do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/ UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP, utilizando-se um banho maria para Laboratório e fazendo-se variar sua temperatura de 0 – 60 °C. A temperatura da água foi medida com termômetro de mercúrio de fundo de escala de 60 °C, precisão  $\pm 0,1$  °C e com o termômetro infravermelho e digital, simultaneamente.

Foram realizadas 4 leituras diárias, entre as 12:00 e 14:00 horas, nas repetições de bloco de cada tratamento, e obtidos os dados da temperatura do ar ambiente e da temperatura da cobertura vegetal. Para evitar a influência da incidência solar direta, e possíveis erros, as leituras foram efetuadas com o sensor do aparelho posicionado em direção oposta ao sol, e o ângulo de inclinação de aproximadamente 30° com a horizontal (FERNANDES; TURCO, 2001; BRUNINI; TURCO, 2018).

Para o cálculo do IEHC efetuou-se a diferença entre as temperaturas médias da cobertura vegetal e a temperatura do ar (BRUNINI; TURCO, 2018), Equação 7. Valores positivos do IEHC indicam que a cultura encontra-se em déficit hídrico, com tendência a estresse (FERNANDES, 2010).

$$IEH = Tc - Ta$$

(7)

Em que:

IEH – Índice de Estresse Hídrico Diário, em °C;

Tc – temperatura da cobertura vegetal, em °C; e

Ta – temperatura do ar, em °C.

No final do experimento, decorrido o período de cura, as amostras de cebolas foram colhidas em quatro lotes com dimensões de 2,00 m<sup>2</sup> em cada um dos quatro blocos de cada tratamento, totalizando trinta e dois lotes de amostras quantificadas em toda a área. Procedeu-se a toailete e pesagem das amostras, e a produtividade foi estimada para um hectare. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F seguido da aplicação do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), cujas fórmulas foram aplicadas utilizando-se a ferramenta computacional MS-Excel 2010®.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes aos pesos dos lotes das amostras coletadas, submetidos a avaliação estatística podem ser observados

na Tabela 3, enquanto que os resultados do cálculo estatístico (peso) para a estimativa da produtividade são mostrados na Tabela 4. Os valores foram estimados para um hectare.

**Tabela 3.** Pesos das amostras (kg) coletadas nos blocos dos tratamentos para avaliação estatística.

Tratamentos	Repetições	Blocos (Pesos)			
		1	2	3	4
T1-Hargreaves	1	26,00	23,00	25,00	25,00
	2	24,70	20,90	24,10	24,00
	3	26,00	28,00	26,40	26,00
	4	28,00	29,00	26,20	28,20
T2-Penamn-Monteith	1	27,10	24,20	28,10	26,30
	2	24,20	25,20	24,90	21,00
	3	24,00	23,90	24,70	27,00
	4	29,00	24,10	22,00	25,00

**Tabela 4.** Resultado estatístico do peso das amostras.

Análise de variância (Pesos)	Valores
GL resíduo	27
F tratamentos	0,65
Média geral	25,35
Desvio-padrão	2,14
DMS (5%)	1,55
CV (%)	8,45
Teste de Tukey a 5%:	
Hargreaves	25,66 a
Penman-Monteith	25,04 a

Nível de significância – 5%;

GL – graus de liberdade;

DMS – diferença mínima significativa;

CV – coeficiente de variação.

A análise de variância apresentou o coeficiente de variação de 8,45%, com desvio padrão de 2,14, número de graus de liberdade do resíduo foi de 27 e diferença mínima significativa de 1,55%, resultando em F de 0,65. O teste de Tukey a 5% apresentou pesos médios de amostras de 25,66 kg no tratamento T1 pelo método de Hargreaves, e de 25,04 kg no tratamento T2 pelo método de Penman-Monteith.

No tratamento T1 a produtividade foi de 85,5 t ha<sup>-1</sup> de cebolas, e no tratamento T2 foi de 83,4 t ha<sup>-1</sup> de cebolas. Os resultados em t ha<sup>-1</sup> corroboram com os encontrados em pesquisa realizada por Moraes et al. (2016), no ano de 2014, próximo da cidade de Santo Antônio de Posse (SP) onde obtiveram produtividade de 78,9 t ha<sup>-1</sup> com a mesma cultivar.

Durante o período do cultivo, as medições de tensão de água no solo foram

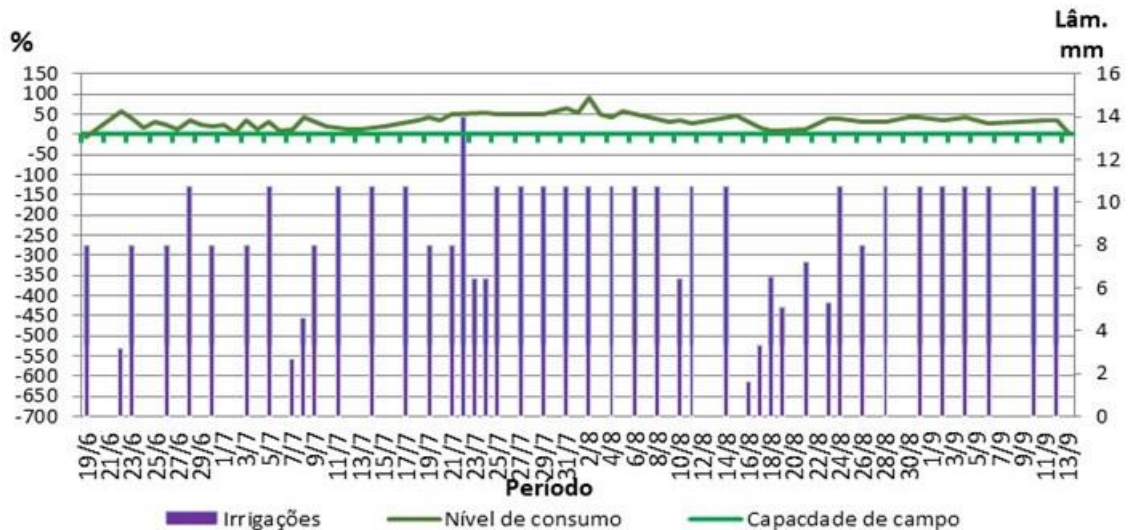
realizadas a partir do transplante das mudas, até o final do ciclo da produção. Os valores registrados demonstraram que os tensiômetros calibrados funcionaram adequadamente, fornecendo dados que permitiram conhecer as respostas das plantas às irrigações conforme comportamento do nível da água disponível no solo.

O volume em lâminas de água aplicado no tratamento T1 foi de 367,1 mm (Figura 3), e no tratamento T2, foi de 312,2 mm (Figura 4). Essa diferença nos totais de lâminas de água aplicada é devido ao

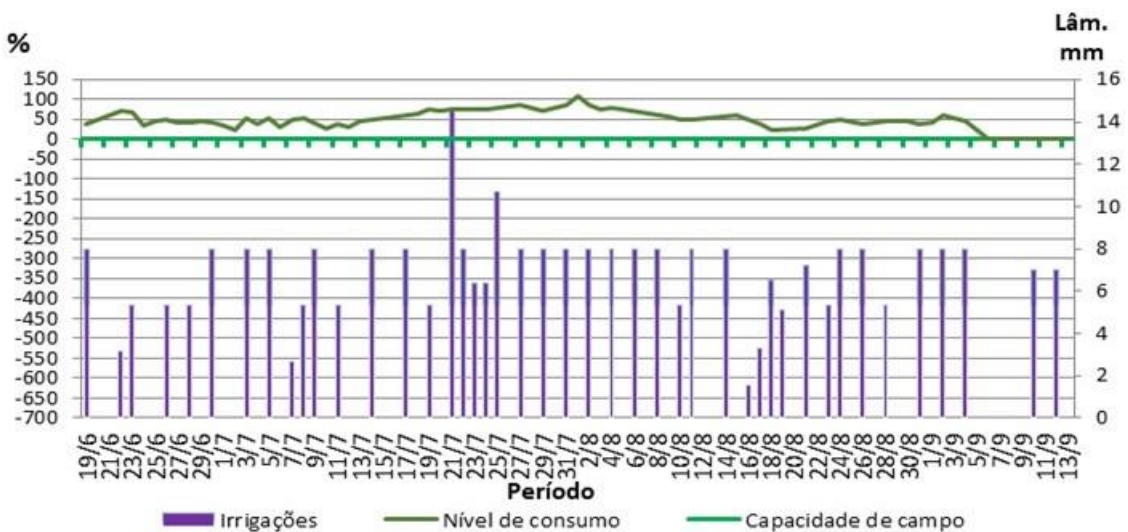
método de Hargreaves ter superestimado em 17,5% a ETo sobre o método de Penman-Monteith. Resultados semelhantes foram obtidos por Turco (2019), para as condições climáticas do município de Jaboticabal-SP, onde o método Hargreaves (1994) superestimou a ETo em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56.

Observa-se também que entre o período de 12/07 a 15/08, o volume aplicado foi maior na fase de bulbificação da cebola, onde ocorre a maior demanda hídrica pela planta.

**Figura 3.** Volume de água aplicada no tratamento T1 – Hargreaves.



**Figura 4.** Volume de água aplicada no tratamento T2 – Penman-Monteith.

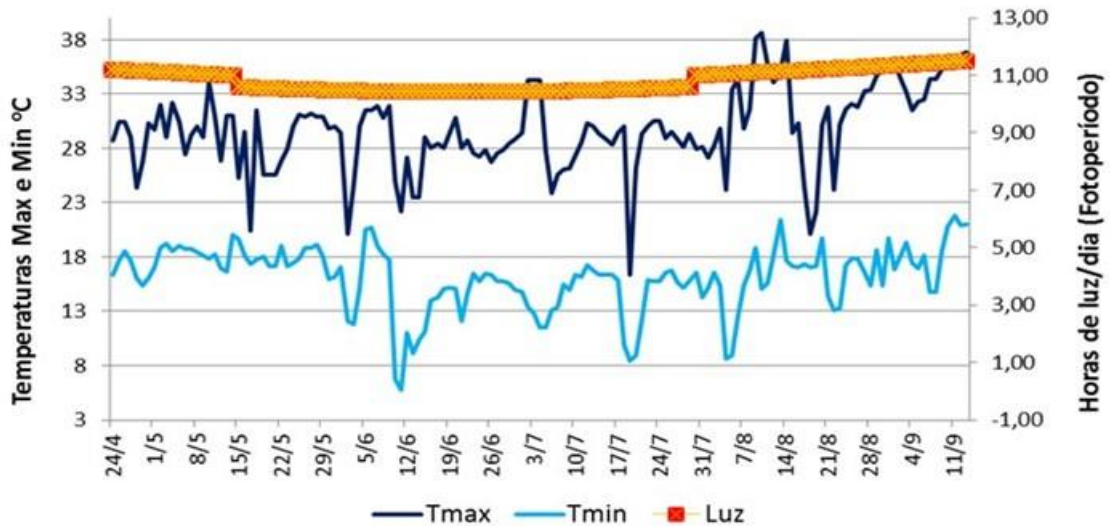




Considerando que em cada fase de desenvolvimento, a cebola requer água em quantidades específicas, principalmente na fase de bulbificação onde ocorre maior interação da planta com o fotoperíodo e a

temperatura do ar (Figura 5), foram realizadas leituras da temperatura do dossel da cebola a partir da fase que já havia 100% de cobertura vegetal no solo, no estágio vegetativo (MAROUELLI et al., 2005).

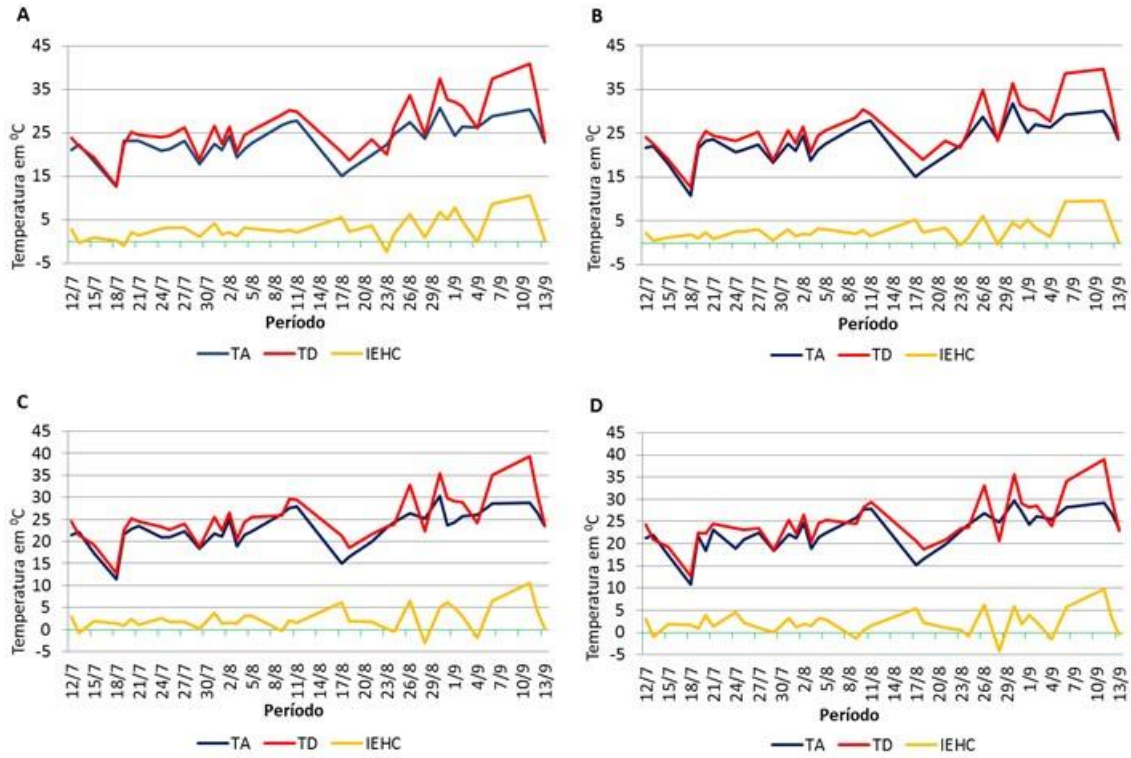
**Figura 5.** Fotoperíodo e Temperaturas do ar máximas e mínimas.



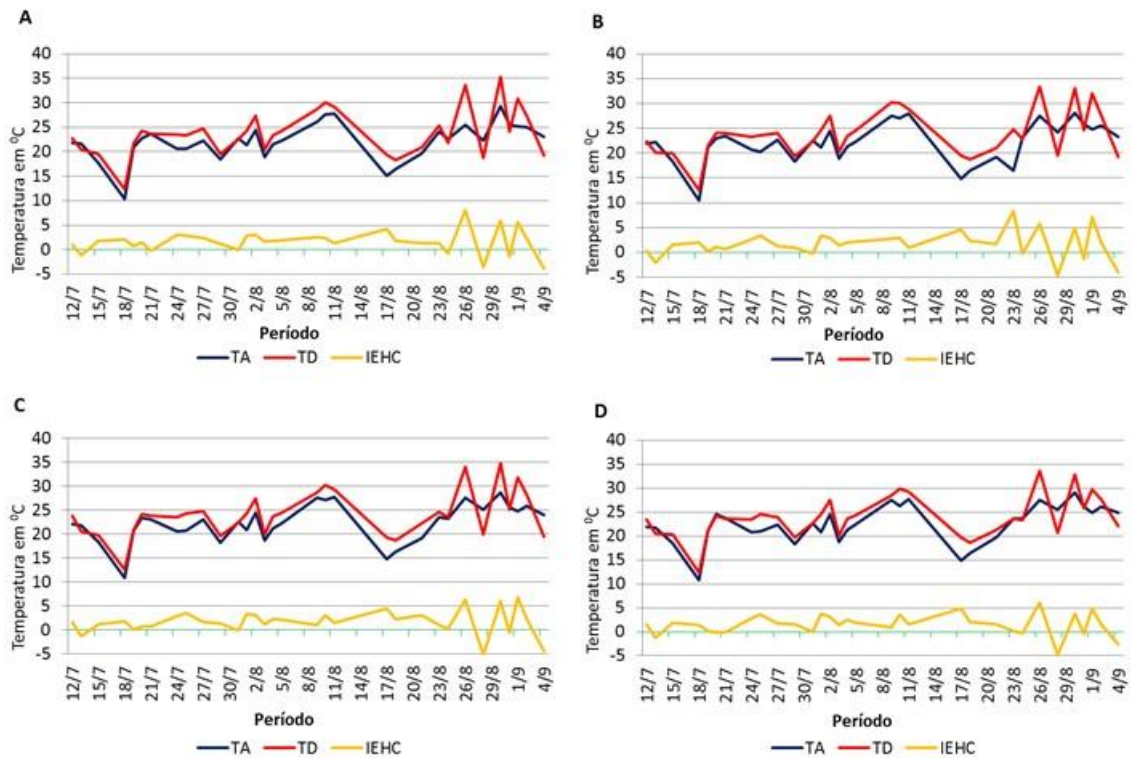
As leituras da temperatura do dossel foram realizadas nas quatro repetições de cada bloco nos tratamentos perfazendo um total de trinta e duas leituras diárias na área total. Foram obtidas médias de IEHC que diferiram uma da outra, provavelmente pelas características distintas em cada ponto, ou seja, a variabilidade da

temperatura do ar ambiente, temperatura do dossel da cultura e umidade solo. Mesmo que aparentemente mínimas, as diferenças são suficientes para identificar déficits hídricos em cada bloco, como podem ser observados nas figuras 6 A, B, C, D do T1 (HG) e 7 A, B, C, D do T2 (PM).

**Figura 6.** Temperaturas do ambiente (TA), do dossel (TD), e o índice de estresse hídrico (IEHC) nos 4 blocos do T1 – Hargreaves.



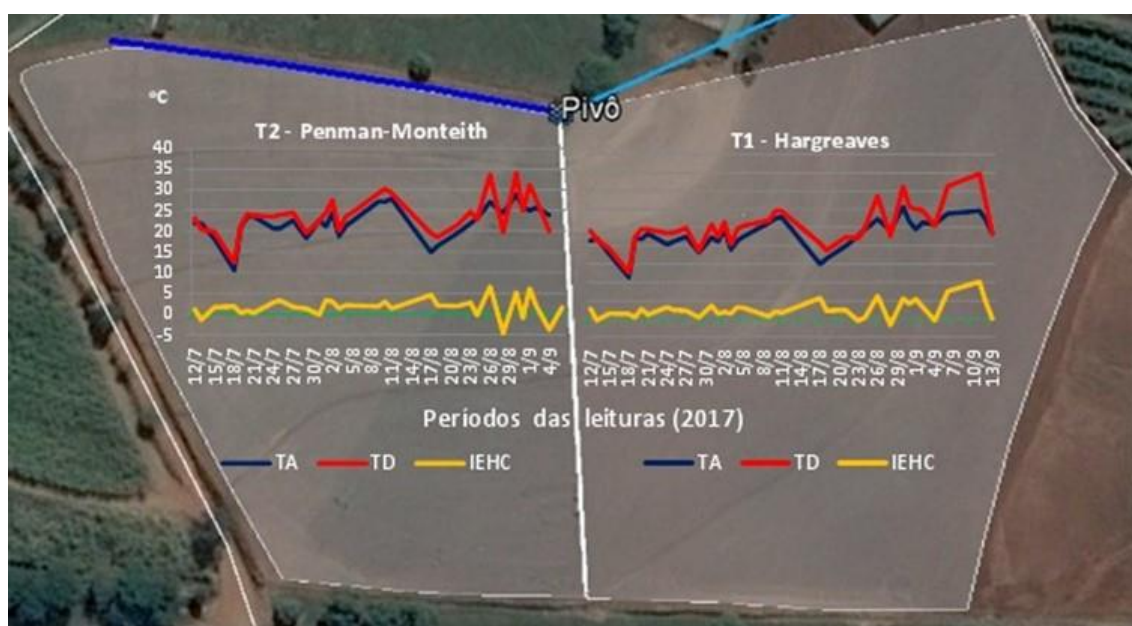
**Figura 7.** Temperaturas do ambiente (TA), do dossel (TD), e o índice de estresse hídrico (IEHC) nos 4 blocos do T2 – Penman-Monteith.



O IEHC foi menor no tratamento T1, com o método de Hargreaves, onde foi aplicado maior volume de água nas irrigações, com exceção do período final, a partir de 04/09, quando foram cessadas as irrigações, às vésperas da semana de colheita. A consolidação dos índices obtidos em cada tratamento pode ser observada na Figura 8. Pelos resultados

obtidos, verificou-se que a temperatura do dossel das plantas aumenta em relação à do ambiente, diferindo o índice de estresse hídrico entre os blocos amostrais nos tratamentos, demonstrando assim, a variabilidade destes quanto ao comportamento da água disponível no solo com relação às irrigações aplicadas em cada tratamento.

**Figura 8.** Leituras consolidadas dos índices de estresse hídrico (IEHC), Temperatura do ar ambiente (TA), e temperatura do dossel (TD) – Por tratamento.

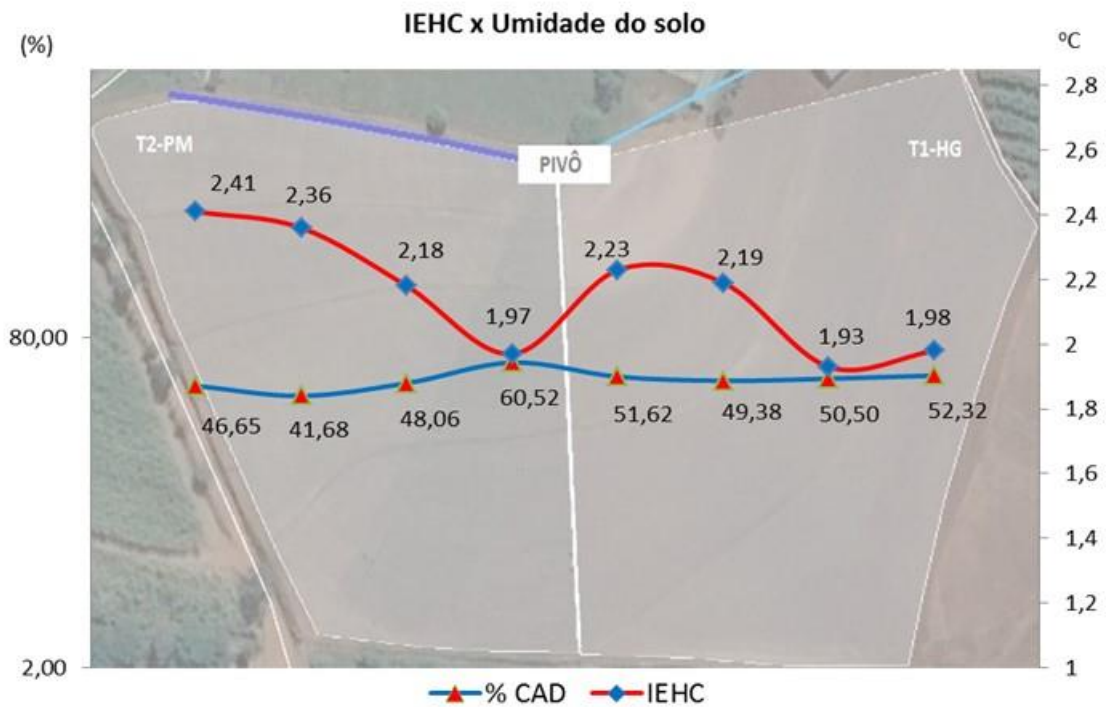


No T1, com a evapotranspiração calculada pelo método de Hargreaves, o índice de estresse hídrico variou entre 1,9 °C no bloco 2 e 2,2 °C no bloco 4. No T2, com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman-Monteith, o índice de estresse hídrico variou entre 2,0 °C no bloco 1 e 2,4 °C no bloco 4, em todo o período. A variação média do índice de estresse hídrico da cebola referente a cada bloco pode ser observada na Figura 9. Os índices obtidos foram comparados aos saldos da água disponível no solo, ou seja, quanto maior o IEHC menor foi o saldo da água disponível no solo, de acordo com os dados da curva

característica de retenção de água, e das tensões de água no solo. Vilas Boas et al. (2016) avaliando a produção e pós-colheita de duas cultivares de cebola em função da água no solo, constataram que maiores lâminas foram observadas nos tratamentos com menores tensões, comportando-se de maneira análoga aos fatos aqui relatados.

O resultado obtido foi similar ao de Brunini e Turco (2018), que verificaram valor do índice de estresse hídrico de 2,0 °C, correspondeu ao momento de irrigar a cultura de cana-de-açúcar, quando o solo esteve com aproximadamente 50% da água disponível no solo.

**Figura 9.** Leituras consolidadas dos índices de estresse hídrico (IEHC) relacionados a capacidade de água disponível (CAD) – Área total.



## 6 CONCLUSÕES

As irrigações baseadas na estimativa da evapotranspiração de referência, pelo método de Hargreaves proporcionou melhores condições hídricas, mantendo a cultura em menores índices de estresse hídrico, não havendo diferença significativa da produtividade com relação ao método de Penman-Monteith.

Para a cultivar utilizada e as condições experimentais pesquisadas, o

valor do índice de estresse hídrico de 1,9 °C, correspondeu ao momento de irrigar a cultura de cebola, quando o solo esteve com aproximadamente 50% da água disponível no solo.

A produtividade média de bulbos, estimada em 83,4 toneladas por hectare foi considerada alta, demonstrando a importância de se monitorar a sensibilidade da planta ao déficit hídrico.

## 7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiration del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 298 p, 2006. (Estúdio Riego y Drenaje, Paper, 56).

BISPO R. C.; QUEIROZ S. O. P.; OLIVEIRA G. M.; CARVALHO A. R. P.; FLORES E. D. S. Desempenho agrônomico de cultivares de cebola sob diferentes tensões de água no solo. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 485-496, 2017.

- BORGES, A. C.; MEDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na bacia do Rio Jacupiranga, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 299-300, 2007.
- BRUNINI, R. G.; TURCO, J.E.P. Water stress index on sugarcane in different developmental phases. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 42, n. 2, p. 204-215, 2018.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Ajuste do modelo de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência no noroeste paulista. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza. v. 7, n. 5, p. 306-316, 2013.
- DOURADO NETO D.; NIELSEN DR.; HOPANS JW.; PARLANGE MB. (1995). Programa SWRC (Version 1.00): Soil-Water Retention Curve (Software). Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia. 2 CD-ROM.
- EL BALLA, M. M. A.; HAMID, A. A; ABDELMAGEED, A. H. A. Effects of time of water stress on flowering, seed yield and seed quality of common onion (*Allium cepa* L.) under the arid tropical conditions of Sudan. Amsterdam: **Agricultural Water Management**, Auckland, v. 121, p. 149-157, 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.F.; AMORIN, A. O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 246-255, 2012.
- FERNANDES, E. J. Determinação do índice de estresse hídrico em cultura do feijoeiro com termômetro de infravermelho. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 15, n. 3, p. 248, 2010.
- FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Utilização do CWSI na determinação de estresse hídrico em cultura de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 347-355, 2001.
- HARGREAVES, G.H. Defining and using reference evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, North Carolina, v. 120, n. 6, p. 1132-1139, 1994.
- IBGE. Cebola. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, v. 30, n. 12, p. 1-82, 2017.
- JONES, H. G.; STOLL, M.; SANTOS, T.; DE SOUSA, C.; CHAVES, M. M.; GRANT, O. M. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 53, n. 378, p. 2249-2260, 2002.
- LIMA JUNIOR, J. C.; ARRAES, F. D. A.; OLIVEIRA, J. B.; NASCIMENTO, F. A. L.; MACÊDO, K. G. Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da

evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 447-454, 2016.

MAROUELLI, W.A. **Tensiômetros para o controle da irrigação em hortaliças**. Brasília, DF: EMBRAPA/CNPH, 2008. 15 p.

MAROUELLI, W. A.; COSTA, E. L.; SILVA, H. R. **Irrigação da cultura da cebola**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças. 2005. 17p.

MAZARON, B.H.S.; TURCO, J.E.P.; SILVA, V.L. Crescimento da cana-de-açúcar em superfícies irrigadas com diferentes exposições e declividades. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**. Botucatu, v. 1, n. 1, Edição Especial – Grandes Culturas. p. 109-125. 2016.

MORAES, C. C.; ARAÚJO H. S. FACTOR T. L.; PURQUEIRO, L. F. V. Fenologia e acumulação de nutrientes por cebola de dia curto em semeadura direta. **Revista de Ciências Agrárias**. Lisboa. v. 39 n. 2, p. 281-290, 2016.

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**, Rio de Janeiro. v. 28, p. 181-191, 2013.

SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B. G.; SAUNDERS, L. D. Irrigation criteria for drip-irrigated onions. **HortScience**, Alexandria, v. 35, p. 63-66, 2000.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p. 1085-1095, 2011.

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

TURCO, J. E. P.; CARLETO, N. Integridade de dados meteorológicos para uso em modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 8, p. 2084 - 2097, 2017.

TURCO, J. E. P.; FERNANDES, E. J. Construção e avaliação de um psicrômetro de termopares. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 468-477, 2003.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VILAS BOAS, R. C; PEREIRA, G. M.; LIMA JUNIOR, J. A.; OLIVEIRA NETO, C. F. E.; SILVA, A. L. P. Produção e pós-colheita de duas cultivares de cebola em função da água no solo. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 697-710, 2016.

VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; SOUZA, R. J.; GEISENHOFF, L. O.; LIMA JUNIOR, J. A. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de cebola irrigada por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p.706 - 713, 2012.