

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO PARA A BETERRABA SOB ESTRESSE SALINO EM AMBIENTE PROTEGIDO

ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA<sup>1</sup>; ANTÔNIO EVALDO KLAR<sup>2</sup>; ÊNIO FARIAS DE FRANÇA E SILVA<sup>3</sup> E ANTONIO RIBEIRO CUNHA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, UNESP/FCA, alexsandro\_oliveira01@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor Emérito, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, UNESP/FCA, klar@fca.unesp.br

<sup>3</sup>Engenheiro Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife-PE, enio.silva@deagri.ufrpe.br

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Departamento de Recursos Naturais da UNESP/FCA, arcunha@fca.unesp.br

### 1 RESUMO

A evapotranspiração da cultura representa a máxima perda de água que o sistema solo-planta sofre, em dado estágio de desenvolvimento quando não há restrição de água no solo. Com o objetivo de avaliar a evapotranspiração real da cultura da beterraba um experimento foi realizado em casa de vegetação localizada no Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas (22°57'34" S e 48°31'20" O), no período de abril a junho de 2012. Foram estudados o efeito da salinidade do solo com valores de condutividade elétrica de 1,0; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0 dS m<sup>-1</sup>, sob duas cultivares de beterraba (Early Wonder e Itapuã202) em um delineamento em blocos com 40 parcelas experimentais. A evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) máxima da cultura dentre os tratamentos foram de 101,8 e 89,5 mm. Os valores de K<sub>c</sub> apresentaram decréscimo médio de 53 e 51,2% para as cultivares estudadas com relação a dados preconizados na literatura. O incremento da salinidade do solo promoveu redução na evapotranspiração real para a cultivar Early Wonder enquanto para a cultivar Itapuã202 houve aumento da ET<sub>r</sub> até a salinidade limiar de 6 dS m<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** manejo da irrigação, salinidade, condutividade elétrica

SILVA, A.O.; KLAR, A. E.; SILVA, Ê. F.F.; CUNHA, A. R.  
EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENT (K<sub>c</sub>) FOR BEET UNDER  
SALT STRESS

### 2 ABSTRACT

Crop evapotranspiration is the maximum loss of water that the crop undergoes in a particular stage of development when no water restriction occurs in the soil. In order to evaluate actual evapotranspiration of the beet crop, an experiment was conducted in a greenhouse at the Rural Engineering Department of the University of the State of São Paulo, College of Agricultural Sciences, Botucatu, SP, Brazil (22°57'34" S and 48°31'20" W) from April to June 2012. The effect of soil salinity with electrical conductivity values of 1.0; 3.0; 6.0; 9.0

and 12.0 dS m<sup>-1</sup> in two beet cultivars (Early Wonder and Itapuã 202) were evaluated. The statistical design was randomized blocks with 40 plots. Actual maximum evapotranspiration of the crop was 101.8 and 89.5 mm. Values of Kc for the two cultivars showed mean decrease of 53% and 51.2% as compared with data from the literature. The increase in soil salinity led to a decrease in actual evapotranspiration of the Early Wonder cultivar, while an increase was observed in actual evapotranspiration of the Itapuã 202 cultivar up to the salinity threshold value of 6 dS m<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Irrigation management, salinity, electrical conductivity.

### 3 INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) pertence à família quenopodiácea, sendo originária das regiões de clima temperado da Europa e do Norte da África. Apresenta raiz tuberosa de formato globular que se desenvolve quase à superfície do solo, com sabor acentuadamente doce e coloração púrpura (FILGUEIRA, 2008). Pode ser utilizada para cultivo em olericultura (OLIVEIRA NETO et al., 2011) ou como forrageira e açucareira, esses últimos predominante na Europa (PIGDEON et al., 2001). No Brasil em ambiente protegido o cultivo da beterraba ainda é pouco utilizado, porém nas últimas décadas, principalmente no Estado de São Paulo a comercialização desta cultura vem ganhando mais espaço, sendo uma das 15 principais hortaliças comercializadas em área plantada (TIVELLI et al., 2011), havendo uma exigência maior do mercado consumidor por produtos de melhor qualidade, sendo a utilização de casas de vegetação uma escolha viável para a obtenção de culturas com maior aceitação por consumidores exigentes (TULLIO et al., 2013).

Apesar das boas condições em que as casas de vegetação exercem sobre as culturas, atualmente estas vem apresentando problemas de salinidade causados pelo excesso de fertilizantes (SILVA et al., 2005) e águas salinas utilizadas na irrigação (SILVA et al. 2013a), havendo riscos eminentes as culturas, fazendo com que o rendimento destas tenham uma queda drástica (AYERS & WESTCOTT, 1999). A beterraba se apresenta como opção de cultivo em ambiente protegido com problemas de salinidade nos solos, devido a sua adaptação ao excesso de sais, produzindo rendimentos economicamente aceitáveis quando não se pode manter a salinidade do solo no nível de tolerância das plantas mais sensíveis, esta alternativa de cultivo não só pode trazer benefício com a extração de sais do solo pela planta, como gerar renda ao produtor que apresenta problemas com salinização de seu solo. Segundo SILVA et al. (2013a) em estudos sobre a produção da cultura da beterraba irrigada com água salina em ambiente protegido, a irrigação com água de qualidade inferior deve ser realizada com o devido cuidado evitando-se o acúmulo excessivo de sais no solo para não haver prejuízos na produção, o mesmo devendo acontecer com os programas de adubação no solo, pois o excesso de fertilizantes pode acarretar problemas fisiológicos nas plantas (SILVA et al., 2013b).

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) representa a máxima perda de água que o sistema solo-planta sofre, em dado estágio de desenvolvimento quando não há restrição de água no solo (ALLEN et al., 1997, ROSEMBERG et al., 1989), sendo que a evapotranspiração real da cultura (ET<sub>r</sub>) é a que realmente ocorre nas condições adversas em que as plantas estão submetidas como é o caso da salinidade, podendo haver queda na produtividade das culturas (AKKER et al., 2011). Mesmo sendo adaptada em áreas de solo salinos (KATERJI et al., 2003), o rendimento da cultura da beterraba deve sofrer reduções

devido à evapotranspiração real ser relativamente menor (SILVA et al., 2013a), devendo-se conhecer a reação da cultura a tal problema, afim de utilizar manejos adequados para a obtenção da máxima produtividade possível, mesmo em condições adversas como a salinidade. OLIVEIRA NETO et al. (2011) em estudos sobre a evapotranspiração da cultura da beterraba orgânica sob cobertura morta observaram que a proteção do solo minimiza o consumo de água pelas plantas, devendo ocorrer o mesmo em plantio sobre ambiente protegido, o que economizaria no custo da água, sendo mais uma vantagem deste tipo de cultivo.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar evapotranspiração real da cultura da beterraba em ambiente protegido e seu coeficiente de cultivo em condições de estresse salino, provocado pelo excesso de fertilizantes no solo.

#### 4 MATERIAL E METODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação localizada no Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, campus de Botucatu - SP (22°57'34" S e 48°31'20" O) no período de abril a junho de 2012. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é definido como Cfa: clima temperado quente (mesotérmico) úmido a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CUNHA & MARTINS, 2009).

Foram realizadas salinizações em um solo (a fim de representar problemas com excesso de fertilizantes) em vasos de 14 litros tendo em sua base uma camada de envelope de 2 cm (manta sintética + brita) elevando a umidade a sua máxima capacidade de retenção juntamente com os sais fertilizantes, diluídos na água, obtendo assim a salinização do solo com valores de condutividade elétrica do extrato de saturação almejados (1,0 ; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0 dS m<sup>-1</sup>) com 4 repetições e duas cultivares de beterraba, totalizando 40 parcelas experimentais em um delineamento em blocos. A proporção de sais, bem como os tipos de sais aplicados foram baseados nas recomendações de adubação de FURLANI (1998) para soluções nutritivas em hortaliças. As quantidades de sais adicionados foram estimadas segundo RICHARDS (1954). As plantas foram cultivadas nos vasos após uma semana da salinização ter sido realizada, a fim de proporcionar um equilíbrio iônico nos mesmos. As cultivares utilizadas foram a Early Wonder e Itapuã202, compradas em um vendedor especializado em produção de mudas em bandejas.

A fim de manter a salinidade do solo, extratores de cápsulas porosas foram instalados em todos os tratamentos para a obtenção da solução do solo, estas eram coletadas 24 horas após a aplicação de vácuo (80 kPa). Semanalmente através das amostras de solução do solo, os valores de condutividade elétrica (CE) eram obtidos por meio de condutímetro portátil, quando estes valores estavam 20% abaixo dos valores de CE iniciais, eram realizadas aplicações de fertilizantes via fertirrigação, através de injetor Venturi, a fim de manter a salinidade inicial do experimento. Os eventos de fertirrigação só eram encerrados quando os valores de CE em cada tratamento correspondiam aos valores iniciais.

A irrigação foi realizada por um sistema de irrigação por gotejamento com vazão de 2,5 L h<sup>-1</sup>, sendo o manejo da irrigação baseado em dados de umidade do solo monitorados diariamente por tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade do solo e de curvas de retenção de água no solo, sendo a quantidade de água aplicada suficiente para elevar a umidade até a capacidade de campo conforme equação (1):

$$LLI = (U_{cc} - U_{atual}) \cdot ds \cdot Z \quad (1)$$

em que:  $LLI$  - Lâmina líquida de irrigação (mm),  $U_{cc}$  - Umidade na capacidade de campo ( $g\ g^{-1}$ );  $U_{atual}$  - Umidade atual no solo ( $g\ g^{-1}$ ),  $ds$  - densidade aparente do solo ( $g\ cm^{-3}$ ),  $Z$  - profundidade do sistema radicular (cm).

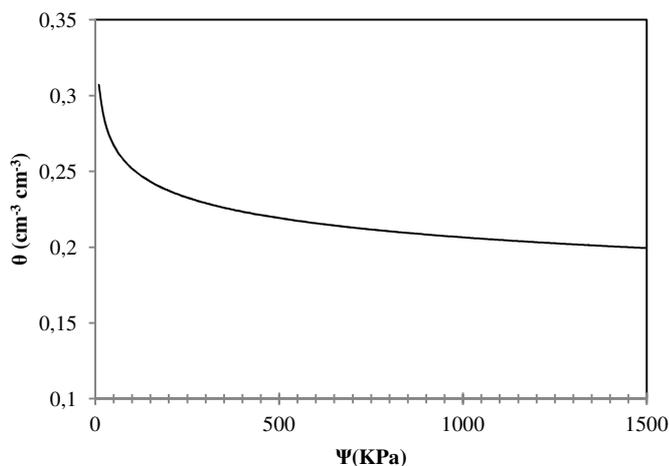
Obtiveram-se os parâmetros da equação de ajuste da curva característica de retenção de água no solo (GENUTCHEN, 1980) com auxílio do software SWRC (Soil Water Retention Curve, DOURADO NETO et al., 2000), demonstrado na equação 2.

$$\theta(\Psi) = 0,2008 + \left( \frac{0,4061 - 0,2008}{[1 + (\Psi/0,2314)^{2,087}]^{0,2490}} \right) \quad (2)$$

em que:  $\theta$  - Conteúdo de água do solo ( $cm^{-3} \cdot cm^{-3}$ ),  $\Psi$  - potencial matricial (Kpa).

A Figura 1 mostra a curva de retenção de água no solo ajustada pela equação de GENUTCHEN (1980), segundo o modelo proposto por DOURADO NETO et al. (2000) no solo utilizado para o cultivo de beterraba sendo que o momento do evento de irrigação foi dado quando a média das leituras dos tensiômetros de todos os vasos atingia 30 kPa.

**Figura 1.** Curva de retenção de água no solo utilizada para o manejo da irrigação ajustada pelo modelo de van Genutchen.



O coeficiente de uniformidade (CUC) do sistema de irrigação obtido após a montagem do experimento foi de 95%, sendo considerada uma eficiência do sistema de irrigação ( $E_a$ ) de 92%, obtida conforme equação 3 (BERNARDO et al., 2008):

$$E_a = CUC \times E_{ap} \quad (3)$$

em que:  $E_a$  - eficiência do sistema de irrigação (%),  $CUC$  - Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);  $E_{ap}$  - eficiência de aplicação em potencial (%).

De posse dos dados de eficiência do sistema de irrigação calculou-se a lâmina bruta de irrigação através da equação 4:

$$LB = \frac{LLI}{Ea} \quad (4)$$

em que: *LB* - Lâmina bruta de irrigação (mm), *LLI* - Lâmina líquida da irrigação (mm), *Ea* - Eficiência do sistema de irrigação (%).

Durante todo o experimento dados de temperatura do ar (média, máxima e mínima), umidade relativa do ar, radiação global, líquida e fotossinteticamente ativa (PAR) foram medidos por intermédio de uma estação meteorológica dentro da casa de vegetação possuindo um Datalogger - CR10 para armazenamento dos dados, também foram feitas medições diárias da evaporação da água (ECA) através de um tanque classe "A" no local. Com base nestes dados foi possível estimar a evapotranspiração de referência através do método matemático de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1997) conforme equação (5):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \left( \frac{900U_2}{T+273} \right) (e_s - e_o)}{\Delta + \gamma(1+0,34U_2)} \quad (5)$$

em que: *ET<sub>o</sub>* - Evapotranspiração por Penman-Monteith (mm dia<sup>-1</sup>), *Rn* - Saldo de irradiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), *G* - densidade de fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>),  $\Delta$  - declinação da curva de saturação de vapor de água (kPa °C<sup>-1</sup>), *U<sub>2</sub>* - Velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>); *T* - temperatura do ar (°C), *e<sub>s</sub>* - Pressão de saturação de vapor (kPa), *e<sub>o</sub>* - Pressão real de vapor (kPa),  $\gamma$  - Fator psicrométrico (MJ kg<sup>-1</sup>).

A evapotranspiração real da cultura (*ET<sub>r</sub>*) foi determinada a partir do balanço hídrico feito no vaso com auxílio dos tensiômetros instalados. Os componentes do balanço hídrico (SILVA et al., 2005) podem ser descritos conforme equação 6:

$$\Delta Arm = P + I \pm R + AC - DP - ET_r \quad (6)$$

em que:  $\Delta Arm$  - Variação de armazenamento do solo, *P* - Precipitação, *I* - Irrigação; *R* - Escoamento superficial ou Run Off, *AC* - Ascensão capilar, *DP* - Drenagem profunda, *ET<sub>r</sub>* - Evapotranspiração real da cultura.

Nas condições em que foi realizado o experimento, os termos  $\Delta Arm$ , *P*, *R*, *AC* e *DP* foram considerados nulos, por se tratar de culturas cultivadas em vasos, com irrigação frequente e sob ambiente protegido. Rearranjando os termos da equação 7, tem-se:

$$ET_r = I \quad (7)$$

Nestes termos, assume-se que o valor de *ET<sub>r</sub>* entre dois eventos de irrigação é igual à quantidade de água aplicada no solo no tratamento em questão, considerando-se ainda que a umidade foi uniforme em todo o perfil da profundidade de instalação dos tensiômetros.

Como o consumo de água pelas culturas é influenciado também pelo incremento da salinidade do solo, determinou-se a variação na evapotranspiração real das plantas submetidas ao estresse salino. O coeficiente de cultura (*K<sub>c</sub>*) foi estimado segundo equação (8) encontrada em ALLEN et al. (1997).

$$K_c = \frac{ET_r}{ET_o} \quad (8)$$

em que:  $K_c$  - Coeficiente de cultivo,  $E_{Tr}$  - Evapotranspiração real da cultura,  $E_{To}$  - Evapotranspiração de referência.

Os dados de  $K_c$  foram comparados com os valores encontrados por DOORENBOS & PRUITT (1977) e por OLIVEIRA NETO et al. (2011) para cada fase fenológica da cultura estudada. O ciclo da cultura segundo DOORENBOS & PRUITT (1977) compreende a fase inicial realizada em bandejas; a segunda fase compreende a fase de crescimento com duração caracterizada como fase fenológica I; a terceira fase compreende a fase intermediária caracterizada como fase fenológica II e a fase final caracterizada como fase fenológica III.

Após a colheita foram calculados o teor de água nas plantas ( $U$ ) na parte aérea e raiz através da relação massa fresca e massa seca (SILVA et al. 2013b) conforme equação (9):

$$U = \left( \frac{MFPA - MSPA}{MFPA} \right) \times 100 \quad (9)$$

em que:  $U$  - Teor de água na parte aérea ou raiz da planta (%),  $MFPA$  - Massa fresca da parte aérea ou raiz da planta (g),  $MSPA$  - Massa de matéria seca na parte aérea ou na raiz da planta (g).

A quantificação do efeito da salinidade sobre a produtividade foi feita mediante a relação entre a queda de rendimento relativo e a evapotranspiração real, dada pelo coeficiente de resposta -  $K_y$  (DOORENBOS & PRUITT, 1977), conforme equação 10:

$$\left( 1 - \frac{Y_r}{Y_m} \right) = K_y \times \left( 1 - \frac{E_{Tr}}{E_{Tm}} \right) \quad (10)$$

em que:  $Y_r$  - Rendimento real obtido,  $Y_m$  - Rendimento potencial obtido,  $K_y$  - Coeficiente de resposta da cultura,  $E_{Tr}$  - Evapotranspiração real,  $E_{Tm}$  - Evapotranspiração potencial

Obtiveram-se o rendimento potencial ( $Y_m$ ) e a evapotranspiração potencial ( $E_{Tm}$ ) dos tratamentos correspondentes à salinidade de  $1 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto o rendimento real ( $Y_r$ ) e a evapotranspiração real ( $E_{Tr}$ ) foram obtidos dos diferentes tratamentos estudados.

A quantificação do efeito da salinidade sobre as variáveis analisadas ( $E_{Tr}$  e  $U$ ) foram feitas por meio da análise de variância, cujo efeito dos tratamentos foi estudado por meio da análise de regressão onde foram testados os modelos linear e polinomial de 2º grau. As equações de regressão foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão, a 0,01 e 0,05 de probabilidade, pelo teste F e com base no maior valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.0 (FERREIRA, 2008).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 pode-se observar os dados climatológicos medidos durante o experimento, a radiação líquida ( $R_n$ ) apresentou os maiores valores no período compreendido entre 6 e 10 dias após o transplântio (DAT). Com relação à evaporação medida no tanque classe "A" (ECA) o maior valor foi observado aos 31 DAT com  $8 \text{ mm dia}^{-1}$ , sendo o período de maior evaporação entre 41 a 51 DAT. Segundo FILGUEIRA (2008) a cultura da beterraba

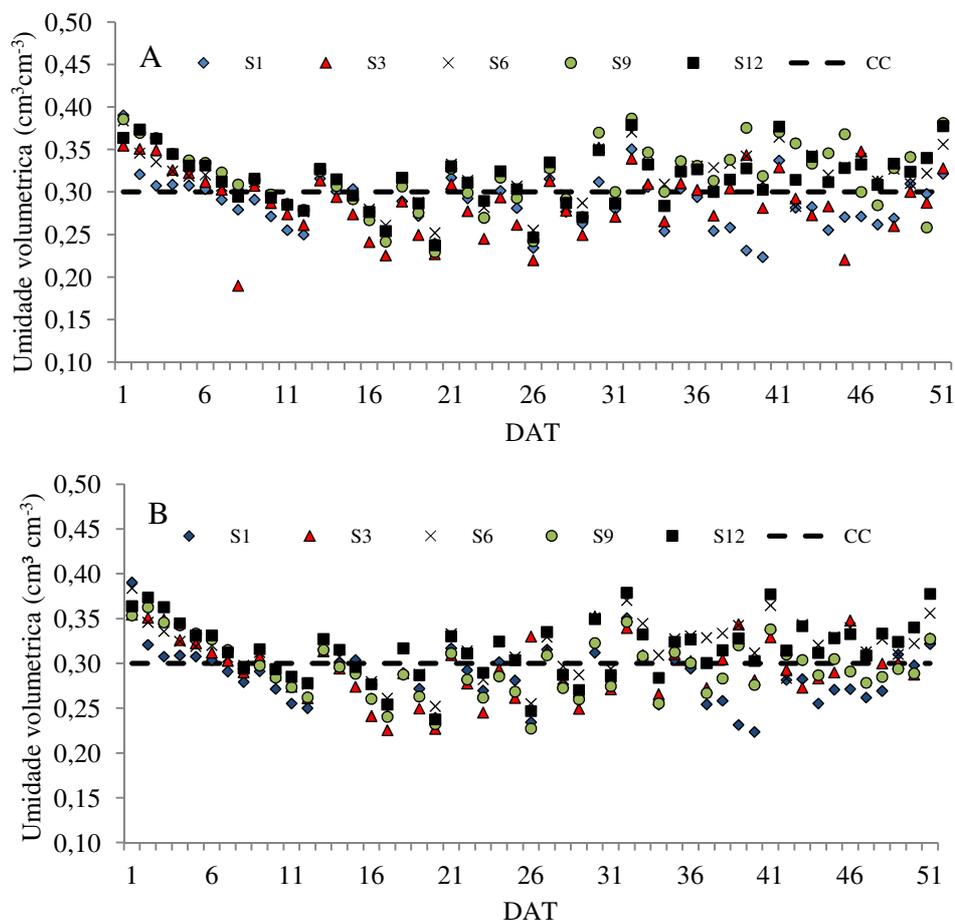
apresenta bom desenvolvimento em regiões com altitudes superiores a 700m, podendo ser cultivada o ano todo. A temperatura dentro do ambiente protegido apresentou média de 26 °C durante todo o experimento. As maiores temperaturas foram encontradas no período compreendido entre 6 a 10 DAT e os menores valores no período compreendido entre 31 a 35 DAT. A umidade relativa média observada para o experimento ficou em torno de 60,7%, tendo valores máximos compreendidos entre 46 a 50 DAT (82,80%).

**Tabela 1.** Dados climatológicos agrupados em intervalos de 5 dias durante o período experimental

<b>DAT (5 dias)</b>	<b>Rn (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ECA (mm)</b>	<b>Tmed (°C)</b>	<b>UR (%)</b>
1 a 5	64,84	23,30	27,90	57,90
6 a 10	70,07	22,15	28,79	61,10
11 a 15	52,86	20,00	26,18	64,73
16 a 20	47,76	29,70	22,17	51,40
21 a 25	57,52	29,20	26,30	52,39
26 a 30	55,08	29,80	26,23	51,98
31 a 35	55,84	24,15	24,40	59,00
36 a 40	49,95	24,90	24,78	61,70
41 a 45	67,74	19,20	27,91	64,50
46 a 50	64,70	19,45	31,17	82,80

**Nota:** Rn - Radiação Líquida, ECA - Evaporação do Tanque Classe "A", Tmed - Temperatura Média, UR - Umidade Relativa

As variações dos perfis de umidade do solo ( $\theta$ ) para os diferentes níveis de salinidade nas cultivares Early Wonder (A) e Itapuã202 (B) estão apresentadas na Figura 2. A linha pontilhada representa o valor correspondente a capacidade de campo (CC) servindo de referência para 100% da reposição da ETc. Para a salinidade de 1 dS m<sup>-1</sup> (S1) a frequência de irrigação foi maior (intervalos de 2 dias) do que os demais tratamentos, aplicando-se lâminas médias de 2 mm dia<sup>-1</sup>, os tratamentos com maiores níveis de salinidade do solo (6 a 12 dS m<sup>-1</sup>) tiveram sua frequência de irrigação reduzida (6 dias), aplicando-se lâminas médias de (0,96 mm dia<sup>-1</sup>). OLIVEIRA NETO et al. (2011) em estudos sobre o cultivo de beterraba orgânica nas condições de Seropédica-RJ observaram que quanto maior a frequência da irrigação para elevar a umidade do solo a capacidade de campo maiores foram as taxas de ETc demandadas, SILVA et al. (2013a) também observaram este tipo de fenômeno em estudos sobre a cultura de beterraba submetidas a águas de qualidade inferior observando uma redução na ETc em salinidades superiores a 3 dS m<sup>-1</sup>.

**Figura 2.** Valores de umidade do solo para a cultivar Early Wonder (A) e Itapuã202 (B).

**Nota:** S1 a S12- Níveis de condutividade elétrica de 1 a 12  $\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente.

A evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) de acordo com os níveis de salinidade, apresentou uma tendência diferenciada para as cultivares estudadas quando relacionadas com a salinidade do solo. Na cultivar Early Wonder a curva ajustada foi o modelo linear de regressão (Tabela 2) enquanto para a cultivar Itapuã202 o ajuste foi polinomial quadrático, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,76. Os estudos apresentaram uma redução do consumo hídrico de 2,73 mm para cada incremento unitário da salinidade do solo na cultivar Early Wonder tais resultados foram semelhantes aos encontrados por SILVA et al. (2005) em cultivo de pimentão em ambiente protegido, porém a cultivar Itapuã202 apresentou os maiores valores para a ET<sub>r</sub> no nível de condutividade elétrica de 4,9  $\text{dS m}^{-1}$ , possivelmente houve um ajustamento osmótico provocado pelo incremento da salinidade do solo encontrando em um ponto ótimo no tratamento próximo a S6 (6  $\text{dS m}^{-1}$ ). Alguns autores como SOUSA et al. (2011) afirmam que o ajustamento osmótico é o principal responsável pelo aumento do consumo e declínio nos tratamentos de maiores concentrações de sais. Para os teores de água na parte aérea da cultura (Upa) não foi observada influência da salinidade em relação às cultivares estudadas, para o teor de água nas raízes apenas a cultivar Early Wonder apresentou resposta aos níveis de salinidade do solo, com redução de 0,38% no teor de água a cada aumento unitário da salinidade do solo. SILVA et al. (2013b) observaram que o excesso de sais no solo pode

influenciar de maneira negativa o teor de água nas folhas desta cultura, prejudicando suas funções fisiológicas.

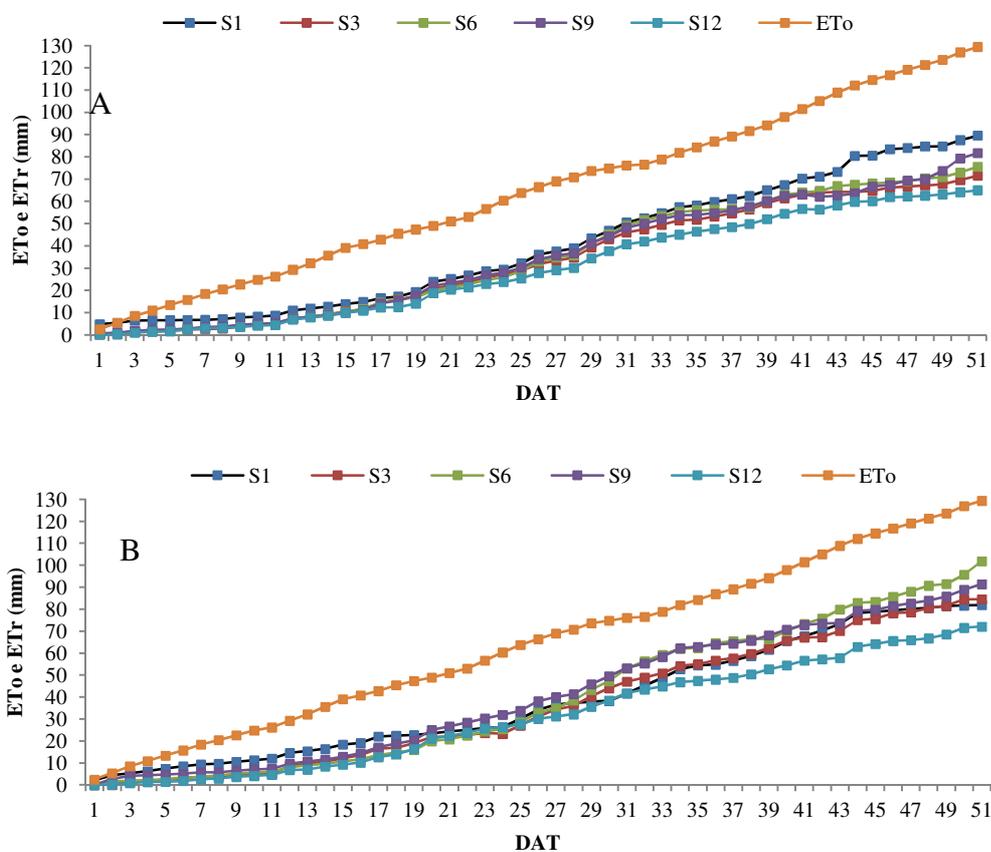
**Tabela 2.** Evapotranspiração real e teor de água nos diferentes cultivares de beterraba submetido à salinidade do solo

Cultivar	Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )					Equação	R <sup>2</sup>
	1	3	6	9	12		
-----ETr (mm)-----							
C1	89,53	71,56	75,5	81,6	64,9	y= -2,7315x+96,7	0,80
C2	81,9	84,54	101,8	91,4	72,0	y= -0,6852x <sup>2</sup> +6,7239x+76,4	0,76
-----Upa (%)-----							
C1	90,2	89,1	90,9	91,3	91,4	Ns	-
C2	88,2	88,7	89,1	87,3	89,2	Ns	-
-----Ur (%)-----							
C1	87,9	71,5	89,8	86,3	94,5	y=0,38x+87,19	0,30
C2	88,1	88,7	90,0	87,2	88,4	Ns	-

**Nota:** C1 -Early Wonder, C2- Itapuã202, ETr - evapotranspiração real, Upa e Ur - Teor de água na parte aérea e raiz, Ns - não significativo pelo teste F

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) acumulada dentro do ambiente protegido foi de 126 mm. Durante todo o experimento, o tratamento com salinidade inicial (S1) da cultivar Early Wonder apresentou a maior demanda hídrica dentre os demais tratamentos, com ETr de 89,5 mm durante todo o ciclo (Figura 3A), comportamento semelhante foi observado por SILVA et al. (2005) para a salinidade inicial em que a cultura do pimentão foi submetida. Para a cultivar Itapuã202 (Figura 3B) o tratamento de maior demanda hídrica (ETr) foi o S6 (6 dS m<sup>-1</sup>) com ETr acumulada de 101,8 mm. Diversos trabalhos envolvendo a salinidade do solo e a evapotranspiração como SILVA et al. (2013a), SOUSA et al. (2011) e SILVA et al. (2005) também observam reduções no consumo hídrico de acordo com o incremento da salinidade no solo, porém o aumento da ETr em tratamentos com maiores salinidades ainda é pouco discutido, segundo CHEN & JIANG (2010) o ajustamento osmótico é o principal responsável pela adaptação das plantas ao meio salino, contribuindo para o aumento da ETr até determinadas concentrações de sais no solo.

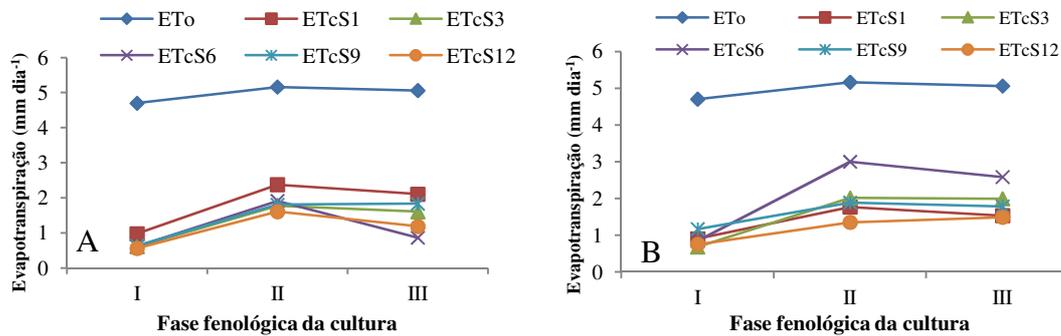
**Figura 3.** Evapotranspiração de referência (ETo) e real da cultura (ETr), acumuladas nos diferentes níveis de salinidade para a cultivar Early Wonder (A) e Itapuã202 (B).



**Nota:** S1 a S12- Níveis de condutividade elétrica de 1 a 12  $\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente.

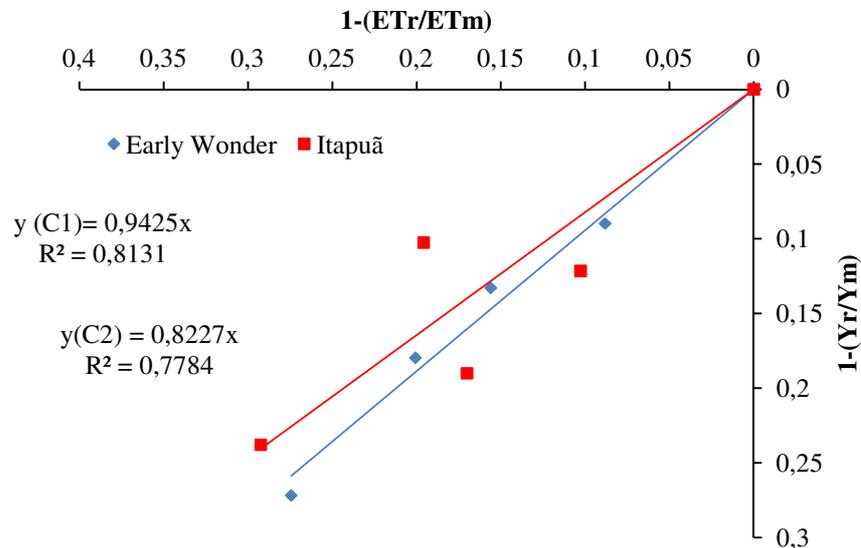
Durante todo o experimento o tratamento com salinidade inicial (S1) da cultivar Early Wonder (Figura 4A) apresentou a maior demanda hídrica diária dentre os demais tratamentos com ETr de  $0,97 \text{ mm dia}^{-1}$  na fase fenológica inicial,  $2,37 \text{ mm dia}^{-1}$  na fase intermediária e  $2,10 \text{ mm dia}^{-1}$  na fase final. Resultados semelhantes foram observados por SILVA et al. (2005) para a salinidade inicial em que a cultura do pimentão foi submetida em ambiente protegido. O tratamento de condutividade elétrica de  $12 \text{ dS m}^{-1}$ , apresentou os menores valores de ETr com  $0,55 \text{ mm dia}^{-1}$  na fase fenológica inicial,  $1,60 \text{ mm dia}^{-1}$  para a fase intermediária e  $1,18 \text{ mm dia}^{-1}$  para a fase final. OLIVEIRA NETO et al. (2011) utilizando diferentes coberturas mortas em cultivo de beterraba cultivada no verão observaram que o consumo máximo foi de  $4,0 \text{ mm dia}^{-1}$  sendo então o clima fator preponderante para resultados distintos entre os experimentos, além da condição de ambiente protegido em que o experimento foi conduzido. Para a cultivar Itapuã202 (Figura 4B) a maior demanda hídrica diária foi encontrada no tratamento S6 com valor de  $3,00 \text{ mm dia}^{-1}$ , na fase fenológica II, o menor valor de ETr diária foi encontrado no tratamento S12 com média de  $1,4 \text{ mm dia}^{-1}$ .

**Figura 4.** Evapotranspiração média de referência da cultura e real para os diferentes níveis de salinidade do solo nas cultivares Early Wonder (A) e Itapuã202 (B).



De acordo com a equação de regressão ajustada, os valores de  $k_y$  foram de 0,9425 e 0,8227 para as cultivares Early Wonder e Itapuã202 respectivamente (Figura 5). Os valores de  $k_y$  apresentados neste estudo estão próximos aos apresentados por DOOREMBOS & PRUITT (1977) que encontraram valores de  $k_y$  igual à 1,0. Segundo PEREIRA & ALVES (2010) a salinidade é um dos mais importantes estresses ambientais responsável pela redução da  $ET_c$  e conseqüentemente a sua produção, sendo necessários mais estudos sobre o coeficiente de resposta da produção ( $k_y$ ) a este tipo de estresse como é apresentado para o déficit hídrico em estudos como os de TOPAK et al. (2011) que obtiveram  $k_y$  de 0,93 para beterraba açucareira sobre diferentes lâminas de irrigação em um sistema por gotejamento.

**Figura 5.** Redução do rendimento da cultura da beterraba em função da salinidade do solo

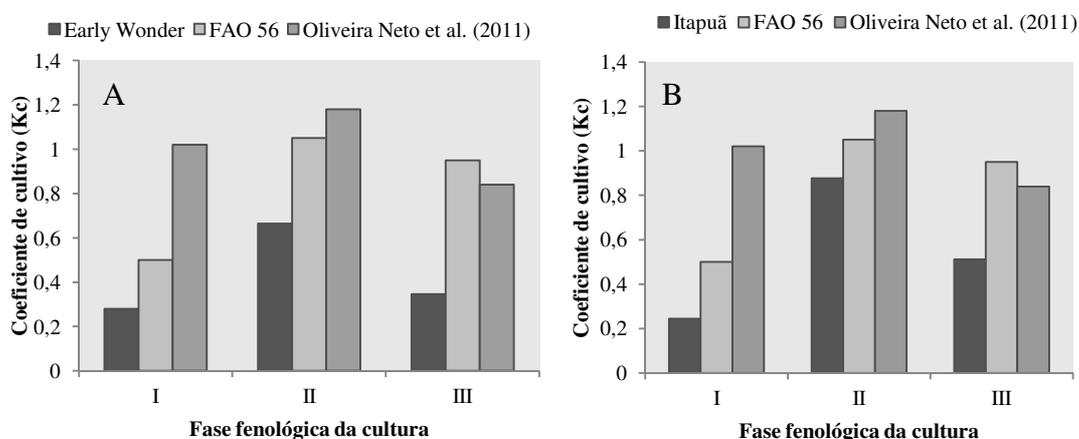


**Nota:** C1 -Early Wonder, C2- Itapuã202

Na Figura 6 pode-se verificar o  $K_c$  obtido neste trabalho, comparando o mesmo com os apresentados por ALLEN et al. (1997) para a cultura da beterraba de mesa encontrados no boletim da FAO 56 e os obtidos por OLIVEIRA NETO et al. (2011). É nítida a diferença entre os valores encontrados e os correspondentes a literatura citada. Segundo SILVA et al. (2005) sugerem que estas diferenças são atribuídas pelas condições locais, variedades e

condições de cultivo. Nota-se que os maiores valores de Kc no experimento ocorreram na fase intermediária (II) após o transplante (DAT). Para a cultivar Early Wonder (Figura 6A) os valores de Kc foram menores em relação ao Kc proposto pela FAO 56 com decréscimo médio de 53%. A cultivar Itapuã202 (Figura 6B) apresentou um decréscimo percentual com relação ao Kc da FAO 56 de 37,07%. A condição do ambiente protegido pode ter sido o principal fator de interferência para o menor coeficiente de cultivo apresentado, pois segundo ROSEMBERG et al. (1989) o uso de coberturas plásticas em cultivos intensivos podem reduzir em até 30% o consumo de água pelas culturas devido a atenuação (absorção e reflexão) a radiação solar incidente resultando na redução no balanço de radiação interna e consequentemente menor evapotranspiração com relação ao ambiente externo.

**Figura 6.** Coeficiente da cultura para diferentes fases fenológicas nos tratamentos propostos para a cultivar Early Wonder (A) e Itapuã202 (B).



Na Tabela 3 apresenta-se a redução da ETr de acordo com o aumento da salinidade do solo nos tratamentos realizados no experimento para a cultivar Early Wonder. As maiores reduções da ETr foram encontradas nos tratamentos S9 e S12 com média de 39,33 e 39,70% de redução da evapotranspiração respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA et al. (2013a) e SILVA et al. (2005) onde as culturas da beterraba e pimentão apresentaram redução da ETr conforme o aumento da salinidade do solo. AKKER et al. (2011) afirmam que a transpiração é o fator dominante para maior parte das perdas de água no solo portanto o maior contribuinte para os danos causados a planta pela salinidade.

**Tabela 3.** Redução da Evapotranspiração real para os diferentes valores de condutividade elétrica do extrato de saturação para a cultivar Early Wonder nas diferentes fases fenológicas da cultura

Salinidade do solo CEes (ds m <sup>-1</sup> )	Redução da ETr (%)			
	Fase de crescimento	Fase intermediária	Fase Final	Média
1	100	100	100	100
3	37,62	25,34	23,90	28,95
6	36,88	19,47	59,08	38,48
9	35,24	23,93	58,88	39,33
12	43,05	32,29	43,37	39,70

Na Tabela 4 está apresentada a redução da ETr da cultura da beterraba cultivar Itapuã202. Observa-se que houve reduções na evapotranspiração de real de cultivo nos diferentes tratamentos com maiores reduções para os tratamentos S9 e S12. Ao longo do experimento, observa-se que o decréscimo entre estes tratamentos foi maior do que 30% da evapotranspiração real do tratamento S6, enquanto os tratamentos S1 e S3 a redução da ETr foi menor que 20%. Talvez a adaptação climática desta cultivar proporcionou menores valores de redução da ETr ao longo do ciclo.

**Tabela 4.** Redução da Evapotranspiração real para os diferentes valores de condutividade elétrica do extrato de saturação para a cultivar Itapuã202 nas diferentes fases fenológicas da cultura

Salinidade do solo CEes (dS m <sup>-1</sup> )	Redução da ETr (%)			Média
	Fase de crescimento	Fase intermediária	Fase Final	
1	11,43	13,51	15,94	13,62
3	3,09	5,37	12,41	6,95
6	100	100	100	100
9	36,50	30,15	39,43	35,36
12	59,05	49,69	49,44	52,72

## 6 CONCLUSÃO

Nas condições em que foi realizado o experimento, pode-se concluir que:

1. Menores valores de Kc foram encontrados quando comparados com os citados com a literatura e obtidos em cultivo em campo.
2. O incremento da salinidade do solo promoveu redução na evapotranspiração real para a cultivar Early Wonder enquanto para a cultivar Itapuã202 houve aumento da ETr até a salinidade limiar de 6 dS m<sup>-1</sup>.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AKKER, J. V. D.; SIMMONS, C. T.; HUTSON, J. L. Salinity effects from evaporation and transpiration under flood irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.137, p.754-764, 2011.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, S. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Trad. Gheyi, H. R. et al. Roma: FAO (*Irrigation and Drainage paper* 56).1997, 300p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. (trad.) A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: **UFPB**, 1999. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).

BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV. 2008. 625p.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v.14, n.1, p.1-11, 2009.

CHEN, H.; JIANG, J. G. Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. **Environmental Review**, Ottawa, v.18, p.309-319, 2010.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 3.00). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.191-192, 2000.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop Water Requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper 24).

FERREIRA, D. F. Sisvar: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v.6, p.36-41, 2008.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2ed. Viçosa: UFV, 2008. 412p.

FURLANI, P.R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia NFT**. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 3ª Edição, Campinas: Instituto Agronômico, 1998, 285p. (Boletim técnico, 100).

GENUTCHEN, M. van Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.892-8, 1980.

KATERJI, N., VAN HOORN, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 62, p. 37-66, 2003.

OLIVEIRA NETO, D. H.; CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CEDDIA, M. B. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p.330-334, 2011.

PEREIRA, L. S.; ALVES, I. Estimativa da evapotranspiração das culturas em ambiente salino. In: GHEYI, H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza:INCTsal, 2010, 253-275p.

PIDGEON, J. D.; WERKER, A. R.; JAGGARD, K. W.; RICHTER, G. M.; LISTER, D. H.; JONES, P. D. Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe, 1961-1995. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam v.109,p.27-37, 2001.

ROSEMBERG, N. J.; MCKENNEY, M. S.; MARTIN, P. Evapotranspiration in a greenhouse-warmed world: a review and simulation. **Agricultural and Forest Agrometeorology**, Amsterdam, v. 47, p. 303-320, 1989.

- RICHARDS, L. A. (Ed) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: United State Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- SILVA, A. O.; KLAR, A. E.; SILVA, E. F. F. Produção da cultura da beterraba irrigada com água salina. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.21, n.3, 271-279, 2013a.
- SILVA, A. O.; KLAR, A. E.; SILVA, E. F. F.; TANAKA, A. A. SILVA JÚNIOR, J. F. Relações hídricas de cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n.11, p.1143-1151, 2013b.
- SILVA, E. F. F.; CAMPECHE, L. F. de S. M. C.; DUARTE, S. N.; FOLEGATTI, M. V. Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e de salinidade para o pimentão cultivado em estufa. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 17, n. 2, p. 58-63, 2005.
- SOUSA, A. E. C.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; NOBRE, R. G. Crescimento e consumo hídrico de pinhão manso sob estresse salino e doses de fósforo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.2, p.310-318, 2011.
- TIVELLI, S. W.; FACTOR, T. L.; TERAMOTO, J. R. S.; FABRI, E. G.; MORAES, A. R. A.; TRANI, P. E.; MAY, A. Beterraba do plantio à comercialização. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2011. 51p (Boletim técnico IAC, 210).
- TOPAK, R.; SÜHERI, S.; ACAR, B. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey. **Irrigation Science**, New York, v.29, p.79-89, 2011.
- TULLIO, J. A.; OTTO, R. F.; BOER, A.; OHSE, S. Cultivo de beterraba em ambiente protegido e natural na época de verão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.10, p.1074-1079, 2013.