

Eficiência de uso da água em cultivares de beterraba submetidas a diferentes tensões da água no solo

Alexsandro Oliveira da Silva¹, Ênio Farias de França e Silva² & Antônio Evaldo Klar¹

Protocol 06.2013 - Received: 27/02/2013 - Accepted: 06/04/2013

Resumo: A eficiência do uso da água relaciona a produção de biomassa pela quantidade de água aplicada, sendo bastante importante o seu reconhecimento na agricultura irrigada. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, município de Botucatu, SP no período de abril a junho de 2012. Os tratamentos foram dispostos em um fatorial 2 x 6, com duas cultivares de beterraba (Early Wonder e Itapuã) e seis níveis de tensões da água no solo (15, 25, 35, 45, 55, 65 kPa) em blocos casualizados com 4 repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Foram avaliadas o número de folhas, a eficiência do uso de água, o teor de água (TRA), as massas de matéria fresca e seca total das plantas. A eficiência do uso da água pelas plantas foi reduzida em 5,44 (Itapuã) e 5,34 (Early Wonder) kg ha⁻¹ mm⁻¹, para cada acréscimo unitário na tensão da água no solo. A massa fresca total das plantas apresentou redução de 0,44 e 0,47 g por aumento da unidade de tensão de água no solo para as cultivares estudadas. A maior produtividade da cultura foi observada nos tratamentos irrigados com a tensão de 15 kPa.

Palavras-chave: *Beta vulgaris* L., manejo da irrigação, déficit hídrico

Water use efficiency in sugarbeet cultivars under different soil water tensions

Abstract: The efficiency of water use correlates biomass production to the amount of water applied and its knowledge is very important in irrigated agriculture. An experiment was conducted in a greenhouse at the Faculty of Agricultural Sciences, UNESP, Botucatu - SP, Brazil, during the period from April to June 2012. Treatments were arranged in a 2 x 6 factorial, with two cultivars of sugarbeet (Early Wonder and Itapuã) and six levels of soil water tensions (15, 25, 35, 45, 55, 65 kPa) in random blocks with 4 replications comprising a total of 48 plots. The number of leaves, the efficiency of water use, the relative water content, masses of fresh and dry matter of the whole plant were evaluated. The efficiency of water use by plants was reduced by 5.44 (Itapuã) and 5.34 (Early Wonder) kg ha⁻¹ mm⁻¹ for each unit increase in soil water tension. Total fresh weight of plants decreased by 0.44 and 0.47 g with per unit increase in soil water tension for the studied cultivars. A higher crop yield was observed in treatments irrigated with tension of 15 kPa.

Key words: *Beta vulgaris* L., irrigation management, water deficit

¹ Departamento de Engenharia Rural da UNESP/FCA, Botucatu, SP. E-mail: alexsandro_oliveira01@hotmail.com; klar@fca.unesp.br

² Departamento de Tecnologia Rural, UFRPE, Recife-PE. E-mail: enio.silva@dtr.ufrpe.br

Introdução

Na região Sudeste do Brasil a beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma importante hortaliça no aspecto socioeconômico, sendo responsável por 45% da produção nacional, o que representa cerca de 250.000 t por ano, gerando renda para mais de 500.000 pessoas por ano (Tivelli et al., 2011). O cultivo no Brasil é exclusivamente de beterraba para mesa, utilizada em saladas, sendo a cultivar Early Wonder a mais cultivada no país e a cultivar Itapuã um genótipo de origem nacional (Filgueira, 2008).

Dos fatores de adversidade nas plantas, a limitação hídrica é a principal causa de redução na produtividade das espécies agrícolas e florestais, limitando o potencial e a exploração agrícola durante o período de estiagens. Neste contexto, a irrigação surge como um auxílio para diminuição dos riscos das safras em épocas de secas, pois irrigações frequentes e na quantidade adequada, juntamente com a escolha correta do sistema de irrigação, ajudam no aumento da produtividade agrícola (Ghamarnia et al., 2012; Hassanli et al., 2010; Marouelli & Silva, 2007).

Embora a irrigação localizada tenha sido desenvolvida para funcionar com alta frequência de aplicação de água e com níveis de umidade próximos ao limite de água disponível no solo, pesquisas devem ser realizadas para se determinar frequências de irrigação capazes de aumentar a produtividade e maximizar a eficiência do uso da água pelas plantas, proporcionando maior produção das culturas com um menor volume de água aplicado (Topak et al., 2011). Segundo Tivelli et al. (2011) o sistema de irrigação por aspersão ainda é o mais utilizado pela maioria dos produtores de beterraba do Estado de São Paulo, porém já existem agricultores avaliando com sucesso a produção de beterraba consorciada com outras culturas, sendo a reposição de água evapotranspirada realizada através de irrigação por gotejamento.

A eficiência do uso da água relaciona a produção de biomassa pela quantidade de água aplicada, sendo bastante importante o seu reconhecimento na agricultura irrigada, pois auxilia na otimização do uso da água, além de auxiliar nos problemas de déficit provocados pelo aumento da demanda social em relação à oferta ambiental. Dentre os meios técnicos adotados para aumentar a eficiência do uso da água na agricultura irrigada, a alta frequência da irrigação com baixo volume de água tem se mostrado eficiente (Topak et al., 2010). Segundo

Carvalho et al. (2011), em estudos sobre o manejo da irrigação da beterraba associada a coberturas mortas, a maior eficiência do uso da água pela cultura foi obtida com a reposição de 70% da água evapotranspirada através de medidas do tanque classe "A". Conforme Tivelli et al. (2011), a água constitui cerca de 90,9% da parte aérea e 87,3% da raiz da cultura da beterraba, sendo a falta de água responsável pela queda drástica na produção desta hortaliça. O período crítico à falta de umidade no solo para a cultura estende-se durante os primeiros 60 dias. Segundo Topak et al. (2011), a maximização do lucro da cultura da beterraba com a produção de raízes é obtida com déficit hídrico de no máximo 25% do consumo hídrico total da planta.

No Brasil e particularmente no Estado de São Paulo estudos sobre o manejo da irrigação na cultura da beterraba ainda são escassos, fazendo com que os produtores desta hortaliça negligenciem a aplicação real de água para esta cultura, aplicando muitas vezes em excesso e às vezes em falta. Neste sentido, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito de diferentes níveis de tensões da água no solo sobre a eficiência do uso da água em duas cultivares de beterraba.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, município de Botucatu - SP, no período de abril a junho de 2012. O município está localizado na Região Centro-oeste do Estado de São Paulo, a 830 m de altitude, 22°57'34" de Latitude Sul e 48°31'20" de Longitude Oeste. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é definido como Cwa: clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seco no inverno, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (CEPAGRI, 2011).

As condições ambientais foram monitoradas diariamente através de leitura da temperatura e umidade relativa do ar, com auxílio de um termohigrômetro digital e evaporação através de um tanque classe "A", dentro do ambiente protegido (Tabela 1).

Inicialmente foram preparadas mudas de beterraba em bandejas por um período de 30 dias, em seguida foi realizado o transplantio para vasos de polietileno com capacidade para 15 L, com diâmetro de 28 cm e altura de 40 cm. Os vasos foram perfurados e providos de um sistema de drenagem em sua parte inferior com 3 cm de brita

Tabela 1. Valores médios da temperatura, umidade relativa do ar e evaporação no ambiente protegido

	Dados semanais							
	(Semanas após início do experimento)							
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a
Temperatura (°C)	23,0	22,8	20,0	20,5	21,4	22,9	22,8	20,0
Umidade relativa (%)	70,0	80,7	74,0	67,5	67,6	70,0	80,7	74,0
Evaporação (mm)	3,0	1,67	2,35	2,44	2,08	3,08	1,67	2,35

nº1 e manta poliéster. Foram colocadas duas mudas por vaso, sendo que 10 dias após transplântio (DAT), retirou-se as mudas menos desenvolvidas, deixando-se apenas uma planta por vaso.

O solo utilizado no preenchimento dos vasos era um Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999), retirado de uma camada superficial de 0 a 30 cm, seco ao ar, destorroado e passado em peneira de malha de 4 mm. Foram realizadas análises físicas do solo no Departamento de Ciências do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, sendo classificado como argiloso (Tabela 2).

Tabela 2. Granulometria e parâmetros físicos e hídricos do solo

Granulometria			Parâmetros físico-hídricos				
Areia	Silte	Argila	dp	ds	P	Cc	PMP
(g kg ⁻¹)			(g cm ⁻³)		(%)	(g g ⁻¹)	
395,5	138,1	466,4	2,77	1,28	53,9	0,27	0,17

dp - densidade das partículas; ds - densidade do solo; P - porosidade total; Cc - umidade na capacidade de campo; PMP - umidade no ponto de murcha permanente

Para determinação da umidade do solo (θ) foi construída uma curva de retenção da água no solo (Figura 1) determinada através dos resultados obtidos em laboratório, utilizando-se amostras de solo indeformadas e funis de placa porosa (Haines, 1930). Os dados de θ (Ψ) foram ajustados por meio da função de van Genuchten com auxílio do software SWRC (Soil Water Retention Curve, Dourado Neto et al., 2000), conforme Eq. 1.

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

em que:

- θ - conteúdo de água do solo, cm³ cm⁻³
- Ψ - potencial matricial, kPa

A adubação foi realizada com base nos resultados da análise de fertilidade do solo (Tabela 3) e de acordo com as recomendações do Instituto Agrônomo de Campinas (Trani

Tabela 3. Características químicas do solo

pH	CaCl ₂	CE	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
		dS m ⁻¹	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmolc dm ⁻³				(%)
5,1		0,32	11	6	0,6	22	7	26	29,6	55,6	53

CE = condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; M.O = matéria orgânica; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; H+Al = acidez potencial; SB = sOma de bases; CTC = complexo de troca catiônica; V (%) = saturação por bases

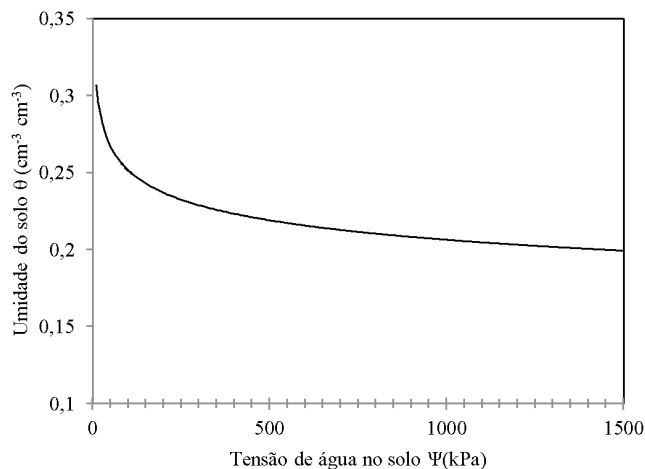


Figura 1. Curva de retenção de água no solo utilizada para o manejo da irrigação

et al., 1998). Os tratos culturais consistiram na aplicação preventiva de fungicida e utilização da calagem para elevação da saturação de bases do solo a 80%.

Utilizou-se para o experimento o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos compreenderam seis níveis de tensão da água no solo (15 - testemunha, 25, 35, 45, 55, 65 kPa) e duas cultivares de beterraba (Early Wonder e Itapuã), totalizando 48 parcelas experimentais, sendo que cada parcela possuía uma planta por vaso. A tensão da água no solo foi medida em todas as parcelas através de tensiômetros de punção na profundidade de 20 cm e distanciado em 10 cm da planta.

Realizou-se o manejo da irrigação a partir da leitura da tensão média em cada tratamento estudado através dos tensiômetros instalados em cada parcela. Observadas as tensões, calcularam-se as umidades correspondentes, a partir da curva de retenção de água no solo. De posse dessas umidades e daquela correspondente à capacidade de container e ainda, considerando-se o volume de solo presente no vaso, calculou-se o volume de reposição (Mantovani et al., 2009), conforme Eq. 2. Para aplicação da água de irrigação nos vasos, transformou-se a lâmina líquida de irrigação

(LLI) em volume ($L \text{ vaso}^{-1}$) multiplicando-se LLI pela área do vaso ($0,062 \text{ m}^2$).

$$LLI = \left(\frac{U_{cc} - U_{atual}}{10} \right) \times ds \times Z \quad (2)$$

em que:

LLI - lâmina líquida de irrigação, mm;

U_{cc} - umidade na capacidade de container, % em peso

U_{atual} - umidade atual, % em peso

ds - densidade do solo, $g \text{ cm}^{-3}$

Z - profundidade do sistema radicular, cm

Até 10 dias após o transplântio (DAT) as mudas dos tratamentos foram irrigadas, igualmente, de forma a garantir o pegamento. Após este período iniciou-se a aplicação dos tratamentos, quando a média de cada tratamento alcançava a tensão estabelecida, promovendo o estresse hídrico nas plantas. A irrigação era realizada até se alcançar a capacidade de contêiner.

Foram avaliadas durante o experimento as seguintes variáveis: massas de matéria fresca (MFT) e seca total (MST) das plantas, número de folhas por planta (NF) (determinada a partir da contagem do número de folhas totais presentes em cada planta em todas as unidades experimentais) a cada cinco dias, relação raiz/parte aérea, comprimento das raízes (medida com auxílio de um paquímetro durante a colheita), consumo hídrico (ETc), eficiência do uso de água (EUA) e o teor de água (U) na parte aérea (U_{pa}) e na raiz (U_r) de cada planta.

O consumo hídrico das plantas (ETc) foi determinado a partir do balanço hídrico (Jabro et al., 2012) feito no vaso com auxílio dos tensiômetros instalados. Os componentes do balanço hídrico podem ser descritos conforme Eq. 3:

$$\Delta Arm = P + I \pm R + AC - DP - ETc \quad (3)$$

em que:

ΔArm - variação de armazenamento do solo, mm

P - precipitação, mm

I - irrigação, mm

R - escoamento superficial (Run Off), mm

AC - ascensão capilar, mm

DP - drenagem profunda, mm

ETc - evapotranspiração real da cultura, mm

Nas condições em que foi realizado o experimento, os termos ΔArm , 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 Eq. 3, tem-se:

$$ETc = I \quad (4)$$

Nestes termos, assume-se que o valor de ETc 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.

A eficiência de utilização da água foi determinada a partir da relação entre a massa da matéria seca (aferida em balança comercial de duas casas decimais após secagem em estufa a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ até atingir massa constante) e o consumo hídrico da planta (Silva et al., 2012; Jabro et al., 2012) conforme Eq. 5:

$$EUA = \frac{MST}{ETc} \quad (5)$$

em que:

EUA - eficiência de utilização da água, $kg \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$

MST - fitomassa seca total, $kg \text{ ha}^{-1}$

ETc - consumo hídrico total, mm.

O teor de água (U) na parte aérea e raiz foi calculado pela relação entre a massa fresca e massa seca das plantas (Silva et al. 2012), conforme Eq. (6):

$$U = \left(\frac{MFPA - MSPA}{MFPA} \right) \times 100 \quad (6)$$

em que:

U - teor de água na parte aérea ou na raiz da planta, %

MFPA - massa de matéria fresca na parte aérea ou na raiz da planta, g

MSPA - massa de matéria seca na parte aérea ou na raiz da planta, g

A quantificação do efeito do déficit hídrico sobre a produtividade foi feita mediante a relação entre a queda de rendimento relativo e o déficit hídrico de evapotranspiração relativa, dada pelo coeficiente de resposta - K_y (Doorenbos & Kassam, 1979), sendo:

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m} \right) = K_y \cdot \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m} \right) \quad (7)$$

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 tensão de 15 kPa, enquanto o rendimento real (Y_r) e a evapotranspiração real (E_{Tr}) foram obtidos dos diferentes tratamentos.

A quantificação do efeito do déficit hídrico sobre as variáveis analisadas foi feita através da análise de variância, cujo efeito dos tratamentos foi estudado por meio da análise de regressão. Também foram comparados o desempenho de cada cultivar pelo teste de médias de Tukey a 0,05 de probabilidade. Na análise de regressão 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).

Resultado e Discussão

No período de condução do experimento a temperatura média diária do ar foi de 23,9 °C e a média diária da umidade relativa foi de 71,5%. Segundo Filgueira (2008), o melhor desenvolvimento da cultura da beterraba ocorre nas temperaturas de 15 a 25 °C, segundo este autor temperaturas elevadas aumentam o risco de doenças como a cercosporiose (mancha foliar).

A análise de variância para as variáveis massa fresca total, massa seca total, número de folhas e comprimento da raiz apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) para o fator tensão da água no solo; para o fator cultivar apenas a variável comprimento da raiz apresentou efeito significativo. A variável relação raiz parte aérea não apresentou efeito significativo para os fatores estudados. Para a interação tensão de água no solo e cultivar nenhuma variável apresentou resposta significativa. Na Tabela 4 pode-se observar a comparação de médias pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade para as variáveis de rendimento e crescimento da cultura da beterraba. Observa-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para a variável crescimento da raiz, na qual a cultivar Early Wonder apresentou maior desenvolvimento.

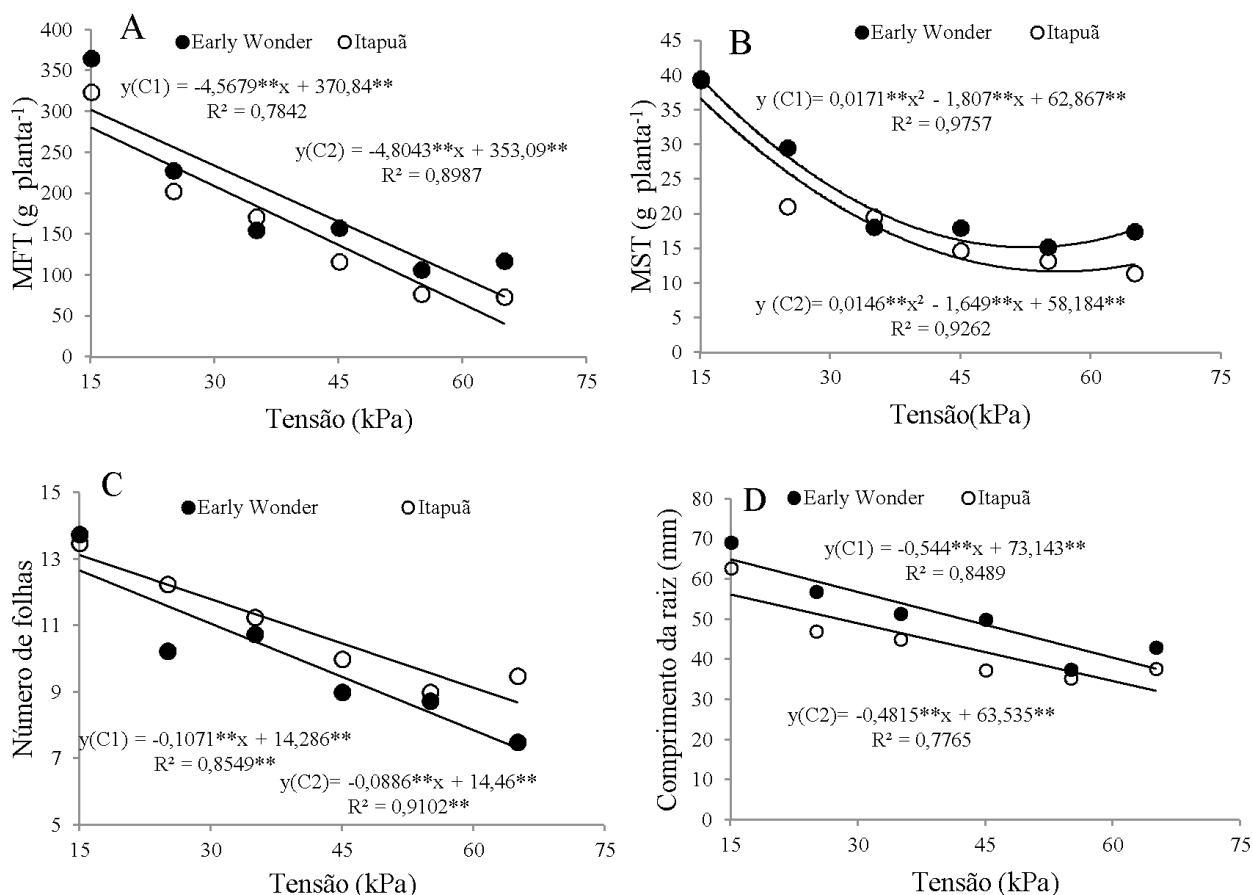
Tabela 4. Valores médios de massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), número de folhas (NF) e comprimento das raízes (CR) das cultivares de beterraba obtidos sob diferentes tensões da água

Cultivares	MFT	MST	NF	CR
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	(planta ⁻¹)	(mm)
Early Wonder	160,9 a*	19,91 a	9,96 a	51,04 a
Itapuã	187,2 a	22,44 a	10,20 a	44,29 b
D.M.S	47,39	5,93	1,26	5,92

* Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística para o teste de Tukey a 5%. DMS - Diferença mínima significativa

Na Figura 2 se apresentam os modelos de regressão adotados para as variáveis de rendimento e crescimento da cultura da beterraba. A massa fresca total (MFT) apresentou para o tratamento testemunha (15 kPa) uma produção média de 365 g planta⁻¹ para a cultivar Early Wonder e 323,7 g planta⁻¹ para a cultivar Itapuã, tais resultados se assemelham aos apresentados por Tognetti et al. (2003) em estudos sobre a resposta da beterraba açucareira a sistemas de irrigação por gotejamento e aspersão em baixa pressão no Sul da Itália, em que os mesmos apresentaram para tratamentos com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura, valores em torno de 350 g planta⁻¹ para MFT. O modelo de regressão para MFT apresenta tendência de redução das plantas (Figura 2A) na medida em que houve aumento da tensão da água no solo, sendo esse efeito atribuído à dificuldade que a cultura teve em absorver água retida na superfície dos colóides, sendo necessário um gasto maior de energia para absorção de água e nutrientes por parte das raízes. Os resultados apresentados são semelhantes aos obtidos por Carvalho et al. (2011) em estudos sobre o manejo da irrigação no cultivo de beterraba sob diferentes coberturas mortas, e nos quais a diminuição da disponibilidade de água no solo provocou redução nos parâmetros produtivos da cultura.

Para a massa seca total das plantas (Figura 3B) houve um ajuste polinomial do modelo com estimativa de produção de MST máxima de 39,6 g para a cultivar Early Wonder e 41,41g para cultivar Itapuã. Segundo Topak et al. (2010), em estudos sobre regimes de irrigação na produção de beterraba açucareira em regiões semiáridas, os maiores valores de biomassa seca desta cultura são obtidos em irrigação plena com 100% da evapotranspiração repostada, sendo que irrigações abaixo do consumo hídrico da planta provocam reduções na MST e conseqüente queda na produção comercial da cultura. Para as variáveis número de folhas (Figura 2C) e comprimento da raiz (Figura 2D) houve um ajuste linear do modelo de regressão.



C1 - Early Wonder, C2 - Itapuã, ** - significativo a 5% de probabilidade

Figura 2. Massa fresca (A) e massa seca (B) total, número de folhas (C) e comprimento da raiz (D) das cultivares de beterraba Early Wonder e Itapuã submetidas a diferentes tensões da água no solo

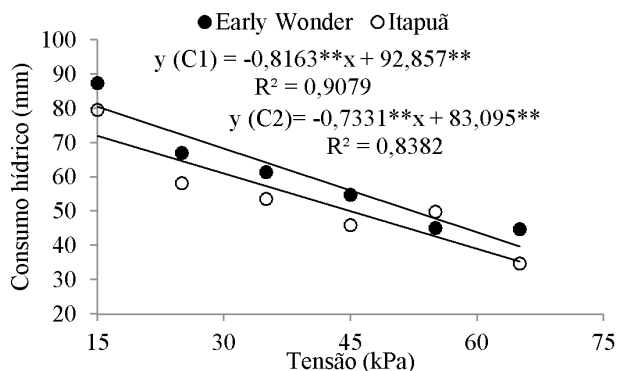
Na Tabela 5 apresenta-se o resultado do teste de comparação de médias para a interação entre a tensão da água no solo e as cultivares de beterraba. Não houve diferença significativa entre as cultivares para cada nível de tensão da água no solo nas variáveis estudadas. O fator tensão da água no solo apresentou diferenças significativas para cultivares de beterraba entre os níveis de tensões iniciais (15 kPa) e finais (45, 55 e 65 kPa). Segundo Bloch & Hoffman (2005), em estudos sobre o desenvolvimento sazonal de diferentes cultivares de beterraba e a interação com o fornecimento de água, um dos fatores que interferem de maneira significativa entre as variedades de beterraba para o seu melhor desenvolvimento é a falta de água.

Na Figura 3 pode ser verificado o consumo hídrico das cultivares de beterraba submetidas a diferentes tensões da água no solo. Observa-se para cultivares Early Wonder e Itapuã houve uma redução linear do consumo hídrico de 0,816 e 0,733 mm, respectivamente, de acordo com o aumento unitário da tensão da água no solo (kPa), provocado possivelmente pela adaptação das atividades fisiológicas ao estresse hídrico em que as plantas foram submetidas. Oliveira Neto et al. (2011), em estudos sobre a evapotranspiração da cultura da beterraba em campo sob diferentes coberturas vegetais apresentaram para o tratamento sem cobertura uma evapotranspiração acumulada de aproximadamente 120 mm, enquanto o consumo

Tabela 5. Valores médios de massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), número de folhas (NF) e comprimento da raiz (CR) para a interação tensão da água no solo e cultivares de beterraba

T (kPa)	MFT		MST		NF		CR	
	(g planta ⁻¹)				(planta ⁻¹)		(mm)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
15	365 Aa*	323 Aa	39,5 Aa	39,2 Aa	13,7 Aa	12,5 Aa	69 Aa	62 Aa
25	227 Aab	203 Aab	29,7 Aab	21,2 Aab	10,2 Aab	12,2 Aa	57 Aab	47 Aab
35	157 Ab	171 Aab	18,2 Aab	19,5 Aab	10,7 Aab	11,0 Aab	51 Aab	45 Aab
45	155 Ab	116 Ab	18 Ab	14,7 Ab	9,0 Ab	10,0 Aab	49 Aab	37 Ab
55	118 Ab	77,2 Ab	17,7 Ab	13,2 Ab	8,8 Ab	8,7 Aab	38 Ab	35 Ab
65	117 Ab	73,0 Ab	13,8 Ab	11,5 Ab	7,5 Ab	6,7 Ab	43 Ab	37 Ab

* Para cada variável, médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas, e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade
 C1 - Early Wonder, C2 - Itapuã



C1 - Early Wonder, C2 - Itapuã, ** - significativo a 5% de probabilidade
Figura 3. Consumo hídrico de cultivares de beterraba em função da tensão da água no solo

hídrico acumulado no presente experimento foi de 87,5 mm para a cultivar Early Wonder e 79,7 mm para a cultivar Itapuã. Tais diferenças no consumo hídrico entre os experimentos possivelmente deve-se ao ambiente protegido que reduz os fatores ambientais que atuam na transpiração das plantas, como vento e radiação solar.

Para o consumo hídrico da cultura da beterraba não se registrou diferenças significativas ($p > 0,05$) para o fator cultivar dentro de cada nível de tensão da água no solo (Tabela 6). Para o efeito da tensão da água no solo, em cada cultivar, houve diferenças entre as médias para o tratamento inicial (15 kPa) e finais (45, 55 e 65 kPa). Segundo Ghamarnia et al. (2012), em estudos sobre diferentes lâminas e métodos de irrigação na cultura da beterraba, a redução no consumo hídrico em 75% do consumo total das plantas provocou queda no rendimento da cultura de até 63,3% na produção das raízes.

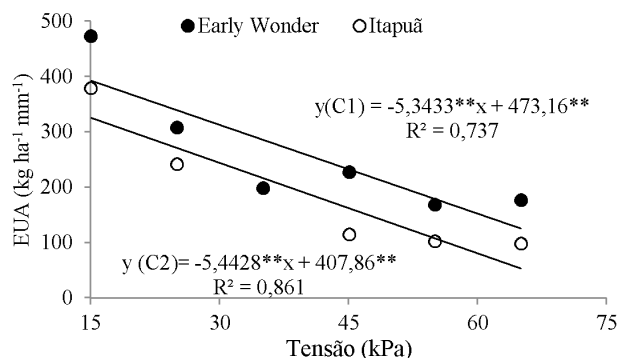
Tabela 6. Consumo hídrico de cultivares de beterraba sob diferentes tensões da água no solo

Tensão (kPa)	Consumo hídrico (mm)	
	Early Wonder	Itapuã
15	87,5 Aa*	79,7 Aa
25	50,0 Aab	58,2 Aab
35	45,0 Ab	50,0 Aab
45	44,7 Ab	41,0 Ab
55	40,0 Ab	36,2 Ab
65	39,2 Ab	35,0 Ab

* Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas, e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Os modelos de regressão da eficiência do uso da água (EUA) para as cultivares de beterraba estudadas estão apresentados na Figura 4. O aumento de uma unidade (kPa) na tensão da água no solo reduz em 5,34 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (cultivar Early Wonder) e 5,44 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (cultivar Itapuã) a eficiência do uso da água pelas plantas nos intervalos de tensão da água no solo avaliados. Tais resultados diferem dos

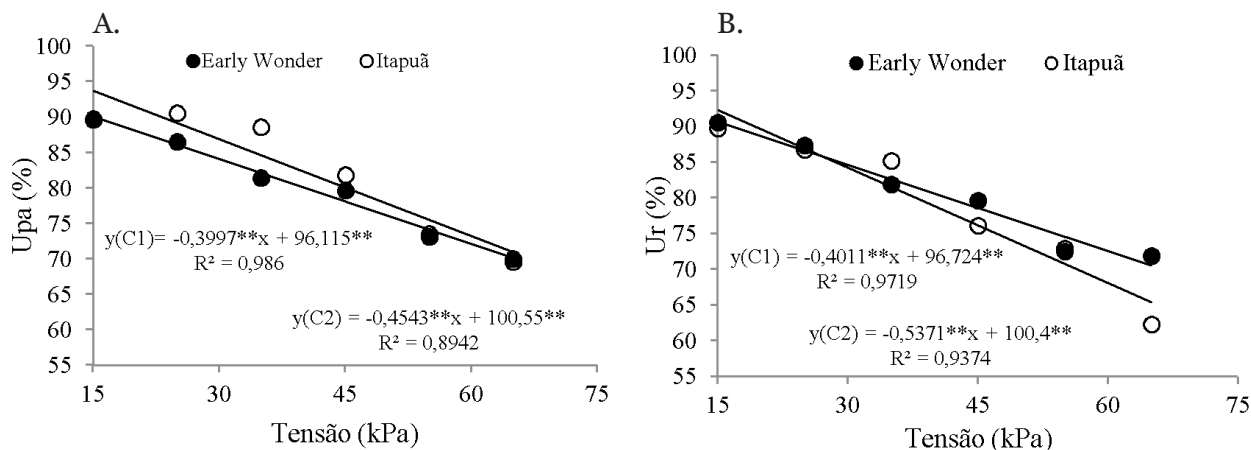
apresentados por Topak et al. (2011) em estudos sobre diferentes regimes de irrigação por gotejamento na cultura da beterraba açucareira, no qual os tratamentos com menores regimes de irrigação (25 e 50% da ETC) apresentaram uma maior EUA (8,71 e 8,41 kg m⁻³). Ghamarnia et al. (2012) apresentaram uma EUA de 16,72 kg m⁻³, para os tratamentos com menores reposições de água (25% da ETC). Tais diferenças podem ser causadas pela baixa tolerância da beterraba de mesa ao déficit hídrico, o que leva esta cultura a perdas crescentes de rendimento, reduzindo assim a EUA.



C1 - Early Wonder, C2 - Itapuã, ** - significativo a 5% de probabilidade
Figura 4. Eficiência do uso (EUA) da água de cultivares de beterraba em função da tensão da água no solo

Na Figura 5 estão apresentados os modelos de regressão para o teor de água na parte aérea (Figura 5A) e raiz (Figura 5B). O teor de água na parte aérea (Upa) das plantas apresentou modelo linear com redução de 0,3997 e 0,453% para as cultivares Early Wonder e Itapuã, respectivamente, para cada aumento unitário da tensão da água no solo. Resultados semelhantes foram observados para o teor de água na raiz (Ur), no qual houve uma redução de 0,4011 e 0,5371% de acordo com o aumento da tensão da água no solo. Segundo Velarde (2010), em estudos sobre o manejo da água na beterraba açucareira, há uma necessidade de se encontrar variedades de beterrabas com menores exigências hídricas, para isto, os mecanismos fisiológicos de tolerância à seca devem ser realizados com maior frequência, principalmente em regiões com baixa disponibilidade de água para agricultura, à exemplo do semiárido brasileiro.

Observa-se na Tabela 7 que não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para o fator cultivar dentro de cada nível de tensão da água no solo (T) para a maioria das variáveis analisadas, excetuando-se para a variável Ur, que apresentou diferenças significativas entre as cultivares no tratamento com tensão de 65 kPa. Para o efeito das tensões da água no solo dentro de cada cultivar estudada houve diferença significativa



C1 - Early Wonder, C2 - Itapuã, ** - significativo a 5% de probabilidade

Figura 5. Teor relativo de água na parte aérea - Upa (A) e na raiz - Ur (B) de cultivares de beterraba sob diferentes tensões da água no solo

Tabela 7. Eficiência do uso da água (EUA) e teor de água na parte aérea (Upa) e raiz (Ur) de cultivares de beterraba sob diferentes tensões da água no solo

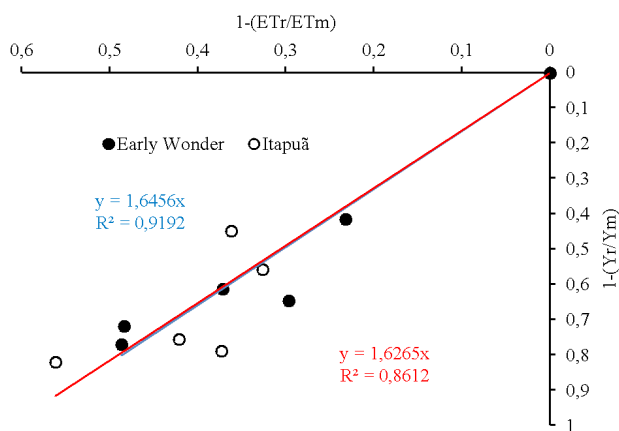
Tensão (kPa)	EUA kg mm ⁻¹ ha ⁻¹		Upa (%)		Ur	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
15	473,5 Aa*	380,0 Aa	89,7 Aa	89,5 Aab	90,5 Aa	90,0 Aa
25	309,0 Aab	243,0 Aab	86,0 Aab	90,7 Aa	87,0 Aa	87,0 Aab
35	228,0 Aab	198,7 Aab	81,5 Aab	88,5 Aab	82,0 Aa	85,2 Aabc
45	199,0 Ab	116,0 Aab	79,5 Aab	81,7 Aabc	79,5 Aab	76,0 Abcd
55	177,5 Ab	111,7 Aab	74,2 Aab	73,7 Abc	72,0 Ab	73,0 Acd
65	168,4 Ab	103,5 Ab	70,0 Ab	69,5 Ac	72,0 Ab	62,5 Bd

* Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas, e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

C1 - Early Wonder, C2 - Itapuã

para os níveis iniciais de tensões da água no solo que apresentaram as maiores médias entre os tratamentos estudados. As maiores tensões da água no solo apresentaram os menores valores dentre os tratamentos, não havendo diferenças significativas para os tratamentos com tensões de 45, 55 e 65 kPa, possivelmente houve um ajustamento osmótico destas plantas ao déficit hídrico, proporcionando tais resultados (Chen & Jiang, 2010).

De acordo com a equação de regressão ajustada, os valores de ky foram de 1,64 e 1,62 para as cultivares Early Wonder e Itapuã, respectivamente (Figura 6). Os valores de ky neste estudo foram diferentes dos apresentados por alguns autores. Em estudos sobre a beterraba açucareira, Doorembo & Kassam (1979) encontraram um ky de 1,0. Shrestha et al. (2010), em estudos sobre a resposta da produção da beterraba açucareira sob estresse hídrico, obtiveram um ky de 1,01. Topak et al. (2011), apresentaram em estudos sobre a resposta da beterraba açucareira à diferentes regimes de irrigação por gotejamento, valor de ky igual a 0,93. Pejić et al. (2011) em estudos sobre o déficit hídrico na cultura da beterraba, obtiveram um fator de resposta (ky) de 0,45. As diferenças observadas para o fator resposta (ky) podem ser



C1 - Early Wonder, C2 - Itapuã

Figura 6. Redução do rendimento da cultura da beterraba em função do déficit hídrico

causadas devido principalmente às mudanças proporcionadas pelo clima em que cada pesquisa foi realizada utilizando as práticas culturais, métodos de irrigação e as cultivares e espécies de plantas diferentes.

Conclusões

1. Para maiores produtividades e o melhor desenvolvimento das plantas em cultivares Early Wonder e Itapuã, deve-se irrigar no momento em que a tensão da água no solo estiver em torno de 15 kPa na profundidade de 0,20 m.

2. A maior eficiência no uso da água (393,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para Early Wonder e 323,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para Itapuã) foi obtida com o controle da irrigação sendo realizado a uma tensão em torno de 15 kPa.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da Bolsa de Auxílio; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das Bolsas de Produtividade ao Departamento de Engenharia Rural da UNESP e Departamento de Tecnologia Rural da UFRPE.

Literatura Citada

- Bloch, D.; Hoffman, C. Seasonal development of genotypic differences in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and their interaction with water supply. *Journal Agronomy & Crop Science*, v.191, p.263-272, 2005.
- Carvalho, D. F.; Oliveira Neto, D. H.; Ribeiro, R. L. D.; Guerra, J. G. M.; Rouws, J. R. C. Manejo da irrigação associada a cobertura morta vegetais no cultivo orgânico de beterraba. *Engenharia Agrícola*, v.31, p.269-277, 2011.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Clima dos municípios paulistas. http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_o86.html. 12 dez., 2011.
- Chen, H.; Jiang, J. G. Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environmental Review*, v.18, p.309-319, 2010.
- Doorenbos, J.; Kassam, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 193p. FAO Irrigation and Drainage Paper, 33
- 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*, v.57, p.191-192, 2000.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1999. 412p.
- Ferreira, D. F. Sisvar: Um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v.6, p.36-41, 2008.
- Filgueira, F. A. R. Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV. 2008. 412p.
- Ghamarnia, H.; Arji, I.; Sepehri, S.; Norozpour, S.; Khodaei, E. Evaluation and comparison of drip and conventional irrigation methods on sugar beets in semiarid region. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.138, p.90-97, 2012.
- Hassanli, A. M.; Ahmadi, S.; Beecham, S. Evaluation of the influence of irrigation methods quality on sugar beet yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, v.97, p.357-362, 2010.
- Haines, W.B. Studies in the physical properties of soil: V. The hysteresis effects in capillary properties and the models of moisture associated therewith. *Journal Agronomy Science*, v.20, p.97-116, 1930.
- Jabro, J. D.; Iversen, W. M.; Evans, R. G.; Stevens, W. B. Water use productivity of sugarbeet, malt barley, and potato as affected by irrigation frequency. *Agronomy Journal*, v.104, p.1510-1516, 2012.
- Mantovani, E. C.; Bernardo, S.; Palaretti, L. F. Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV. 2009. 355p.
- Marouelli, W. A.; Silva, W. L. Water tension threshold for processing tomatoes under drip irrigation in Central Brazil. *Irrigation Science*, v. 25, p.411-418, 2007.
- 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*, v.29, p.330-334, 2011.
- Pejić, B.; Čupina, B.; Dimitrijević, M.; Petrović, S.; Milić, S.; Krstić, D.; Jacimović, G. Response of sugar beet to soil water deficit. *Romanian Agricultural Research*, v.28, 151-155, 2011.
- Shrestha, N.; Geerts, S.; Raes, D.; Horenmans, S.; Soentjens, S. Yield response of sugar beet to water stress under Western European conditions. *Agricultural Water Management*, v.97, p.346-350, 2010.
- Silva, A. O.; Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Santos, A. N.; Klar, A. E. Consumo hídrico da rúcula em cultivo hidropônico NFT utilizando rejeitos de dessalinizadores em Ibimirim-PE. *Irriga*, v.17, p.114-125, 2012.
- 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 Agrônomo de Campinas, 2011. 51p. Boletim técnico IAC, 210
- Tognetti, R.; Palladino, M.; Minnocci, A.; Delfino, S.; Alvino, A. The response of sugar beet to drip and low-pressure sprinkler irrigation in southern Italy. *Agricultural Water Management*, v.60, p.135-155, 2003.

- Topak, R.; Süheri, S.; Acar, B. Comparison of energy of irrigation regimes in sugar beet production in a semi-arid region. *Energy*, v.35, p.5464-5471, 2010.
- 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*, v.29, p.79-89, 2011.
- Trani, P. E.; Passos, F. A.; Tavares, M.; Azevedo Filho, J. A. Hortaliças. In: van Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C (eds). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 1998. 285p.
- Velarde, M. R. Water management in sugar beet. *Sugar Tech*, v.12, p.299-304, 2010.