

CULTIVO DA BETERRABA SOB DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO

JONATHAN DA ROCHA MIRANDA¹ E GERALDO MAGELA PEREIRA²

¹Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Campus Universitário, Departamento de Engenharia, C.P. 3037 – CEP 37200-000, Lavras-MG, Brasil. jonathanrocha7@yahoo.com.br;
²Professor Titular da Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Campus Universitário, Departamento de Engenharia, C.P. 3037- CEP 37200-000, Lavras-MG, Brasil. geraldop@deg.ufla.br.

1 RESUMO

Objetivou-se com este estudo, avaliar o efeito de diferentes tensões de água no solo sobre a produção de beterraba, cultivada em ambiente protegido e irrigada por gotejamento, de forma a estabelecer critérios para o manejo adequado da irrigação. O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, no período de fevereiro a maio de 2016. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam as tensões da água no solo de 15; 25; 35; 45; 55 e 65 kPa. Conclui-se que para a obtenção de maior produtividade e eficiência no uso da água, as irrigações devem ser realizadas quando a tensão da água no solo estiver em torno de 15 kPa, a uma profundidade de 0,15 m.

Palavras-chave: Manejo de irrigação; Ambiente protegido; Sensor de Resistência Elétrica; Eficiência no Uso da Água.

MIRANDA, J.R; PEREIRA, G.M.

BEET CULTIVATION UNDER DIFFERENT SOIL WATER TENSIONS

2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different soil water stresses on beet production, cultivated in a protected environment and irrigated by drip irrigation, to establish criteria for proper irrigation management. The experiment was conducted in the experimental area of the Engineering Department of the Federal University of Lavras (UFLA), from February to May 2016. The innovative design was a randomized complete block (DBC), with six treatments and four replications. The treatments consisted of six soil water tension stresses (15, 25, 35, 45, 55 and 65 kPa). From the results obtained, it was concluded that to achieve higher values of productivity and efficiency in the use of water, irrigations should be carried out when the water tension in the soil is around 15 kPa, to a depth of 0.15 m.

Keywords: Irrigation management; Protected environment; Watermark, Efficiency in Water Use.

3 INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é considerada uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil. O cultivo de beterraba representa 2,1% do mercado nacional de hortaliças com produtividades oscilando entre 20 e 35 t.ha⁻¹. As principais regiões produtoras de beterraba estão nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, onde se encontram 42% das propriedades produtoras. No Nordeste, seu cultivo é reduzido, pois as temperaturas mais elevadas do ar tendem a reduzir a pigmentação e conseqüentemente a qualidade do produto (GRANGEIRO et al., 2007).

Muitas regiões brasileiras vêm sofrendo com a escassez de recursos hídricos que podem inviabilizar o cultivo das hortaliças (MARENCO, 2006). O que se faz necessário estabelecer medidas de gestão adequadas para a preservação destes recursos de modo quantitativo e qualitativo, a fim de maximizar a produção de alimentos baseado na água disponível (KIYMAZ e ERTEK, 2015). Com o aumento das secas veio a necessidade de fornecer dados para orientar decisões de manejo de irrigação principalmente para beterraba, que são produzidas em suma maioria por pequenos produtores que não detém de tecnologias suficientes para enfrentar este problema (PIRES et al., 2008; TARKALSON et al., 2018).

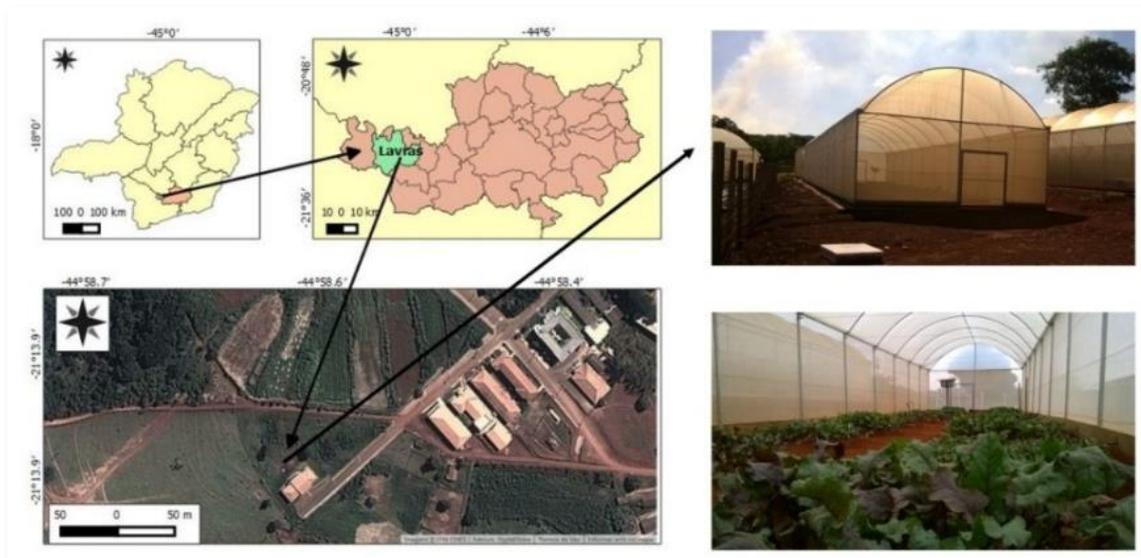
Neste sentido, o manejo adequado da irrigação, pode garantir uma produção de melhor qualidade, quantidade e regularidade do produto frente a condição de menor disponibilidade de hídrica. Dentre os equipamentos adotados para de manejo de irrigação, o uso de sensores é um dos mais indicados devido ao fácil manuseio e aquisição sendo este o mais

apropriado a pequenos produtores que podem adquirir em pequenas unidades. No entanto não há uma informação confiável acerca do nível de déficit hídrico que a cultura é capaz de suportar em valor de tensão de água no solo. Grandes partes dos estudos fazem o uso de manejo de irrigação para a beterraba utilizam da metodologia em aplicar uma taxa de lâmina de água variada conforme o consumo hídrico que é medido pelo monitoramento da evapotranspiração (FABEIRO et al., 2003; KIYMAZ e ERTEK, 2015; TOPAK et al., 2010).

Neste sentido, este trabalho parte da premissa que existe um limite crítico de tensão de água no solo para que a cultura possa ser cultivada sem prejudicar sua produtividade, possibilitando dimensionar a quantidade de água ideal evitando o uso excessivo. O objetivo deste trabalho foi definir em valores de tensão de água no solo e sua relação com a produtividade da beterraba para que seja fonte de orientação aos potenciais produtores que desejem se utilizar do manejo de irrigação por sensores no solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A UFLA situa-se no município de Lavras, na Mesorregião Campo das Vertentes e está na altitude média de 910 metros, 21°14'S, Latitude Sul e 45°00'W, Longitude Oeste (Figura 1). O clima da região é considerado como Cwa de acordo com a classificação de Koppen, ou seja, clima temperado suave, com inverno seco e verão chuvoso, subtropical (DANTAS et al., 2007).

Figura 1. Localização espacial da área de estudo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do modelo teto em arco é constituída com estrutura metálica apresentando 3,0 metros de pé-direito e 4,5 metros de altura no ponto mais alto com dimensão de 7 metros de largura e 30 metros de comprimento (210 m²). A cobertura da casa de vegetação consiste em filme de polietileno aditivado anti-UV de 0,15 mm de espessura. A utilização da casa de vegetação teve por objetivo evitar a interferência das chuvas nos tratamentos de irrigação.

O solo da área é classificado originalmente como um Latossolo Vermelho Distroférrico (DOS SANTOS et al., 2018). As análises físicas e químicas do solo foram realizadas por uma amostra deformada composta, extraída na camada de 0 a 30 cm representativa de toda área. Esta amostra foi enviada ao Laboratório de Física do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, onde se determinou os pontos de baixas tensões (2, 4, 6 e 10 kPa) por meio do método funil de Haines, e os de altas tensões (33, 100, 500 e 1500 kPa) por meio do extrator de Richards conforme recomendações de Carvalho e Oliveira

(2012) além da densidade do solo que foi definido pelo método do anel volumétrico que obteve o valor de 1,4 g.cm⁻³.

De posse dos pontos de tensão de água no solo e a umidade volumétrica correspondente, foi determinada a curva característica de água no solo. Utilizando-se o programa computacional SWRC - Soil Water Retention Curve, desenvolvido por Dourado Neto *et al.* (2001), para ajustar o modelo proposto por Genuchten (1980) que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão da água no solo (potencial matricial). Com base neste modelo (Equação 1) e dos valores observados, foi gerado a curva de retenção da água no solo (Figura 2).

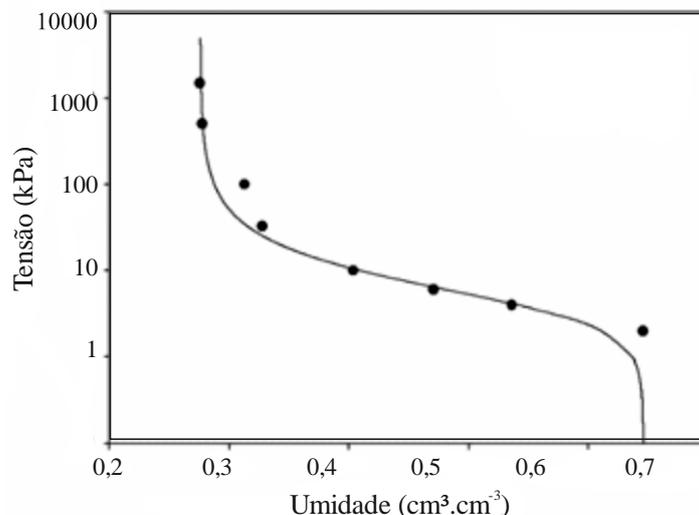
$$\theta = \frac{0,276 + 0,370}{[1 + (0,2368 * |\Psi_m|)^{2,0878}]^{0,521}}$$

(1)

Em que:

θ - Umidade do solo com base em volume (cm³ cm⁻³);

Ψ_m - Tensão da água no solo (kPa).

Figura 2. Curva de retenção da água no solo, ajustada pelo modelo de Genuchten (1980)

A umidade volumétrica equivalente à capacidade de campo foi determinada considerando a tensão de 10 kPa como descrito por Silva e Maroelli (1998), no qual considera esta tensão recomendável para este tipo de solo. De acordo com o modelo ajustado na Equação 1, a umidade do solo nesta tensão corresponde a 0,409 cm³ cm⁻³.

Na Tabela 1 encontram-se os atributos químicos do solo antes da adubação de plantio. Segundo Guimarães, Alvarez e Ribeiro (1999), deve-se realizar a calagem do solo para elevar a saturação por bases a 70%. Os resultados da análise química do solo demonstram que a saturação de base foi superior a 84%, portanto não houve a necessidade de calagem.

Tabela 1. Atributos químicos da amostra composta do solo da área experimental

Sigla	Descrição	Quantidade ¹ (Classe)	Unidade
pH	Em água, KCl e CaCl ₂ (1:2,5)	7,40 (A)	---
K	Potássio	26,00 (B)	mg.dm ⁻³
P	Fósforo	2,91 (MB)	mg.dm ⁻³
Ca	Cálcio	4,11 (MB)	cmol.dm ⁻³
Mg	Magnésio	1,65 (MB)	cmol.dm ⁻³
Al	Alumínio	0,00 (Mb)	cmol. dm ⁻³
H+Al	Acidez Potencial	1,10 (b)	cmol.dm ⁻³
SB	Soma de bases trocáveis	5,83 (B)	cmol.dm ⁻³
T	Capacidade de troca catiônica efetiva	5,83 (B)	cmol.dm ⁻³
T	Capacidade de troca catiônica a pH 7	6,93 (M)	cmol.dm ⁻³
V	Índice de saturação por bases	84,08 (MB)	%
M	Índice de saturação por alumínio	0,00 (Mb)	%
M.O	Matéria Orgânica	2,61 (M)	dag.kg ⁻¹
P-Rem	Fósforo remanescente	1,90 (Mb)	mg.L ⁻¹
B	Boro	0,45 (M)	mg.dm ⁻³

¹A - Alto; MB - Muito Bom; B - Bom; M - Médio; Mb - Muito Baixo; b - Baixo (GUIMARÃES et al., 1999).

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram de seis tensões da água no solo (15, 25, 35, 45, 55 e 65 kPa) como indicativo de momento de irrigar (tensão crítica).

De acordo com Allen *et al.*, (1998) a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da beterraba é de 0,3 m. Com o objetivo de monitorar umidade do solo a tensão, foram instalados 3 sensores de resistência elétrica de matriz granular (watermark®) na profundidade de 0,15 m e no alinhamento das plantas, que serviram como indicadores de decisão sobre quando e quanto irrigar, e um sensor na profundidade de 0,30 m para verificar a ocorrência de percolação. Para cada tratamento, os conjuntos de sensores mencionados foram instalados em duas das quatro repetições, totalizando 48 sensores.

A parcela experimental teve as dimensões de 1,00 m de largura por 1,60 m de comprimento (1,60 m²). Foram utilizadas quatro linhas de plantio espaçadas de 0,25 m entre si, e 0,10 m entre plantas, totalizando 64 plantas por parcela. A parcela útil foi composta pelas duas linhas centrais, sendo descartadas 2 plantas no início e no final do canteiro (parcela útil com 24 plantas).

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento, sendo os emissores autocompensantes do tipo in-line, com vazão nominal 1,60 L h⁻¹ espaçados a 0,30 m. Na parcela experimental as linhas laterais de irrigação foram dispostas em duas linhas distanciadas em 0,50 m, com 6 gotejadores por tubo.

As linhas laterais foram conectadas às linhas de derivação de polietileno e que por sua vez foram conectadas às linhas principais de PVC (DN35 e PN40), onde foram instaladas em seu início, válvulas elétricas de comando (solenóides) localizadas na saída do cabeçal de controle. Foi utilizada uma válvula em cada

tratamento, que foram acionadas por um controlador previamente programado em cada irrigação, para funcionar o tempo necessário visando repor a lâmina de irrigação.

O momento de irrigação foi definido, quando pelo menos quatro dos seis sensores de decisão, instalado a 0,15 m de profundidade, atingiram a tensão crítica estabelecida para cada tratamento, elevando a umidade do solo à capacidade de campo.

De posse da curva de retenção de água no solo, foram estimadas as umidades correspondentes as leituras das tensões observadas. As lâminas líquida e bruta de reposição foram calculadas (Equações 2 e 3), considerando a diferença entre a umidade na capacidade de campo e a umidade estimada para a tensão observada, na profundidade efetiva do sistema radicular (300 mm) e por fim, definiu-se o tempo de funcionamento do sistema de irrigação (Equação 5). As leituras dos sensores foram realizadas diariamente, sendo uma pela manhã (8:00 h) e pelo período da tarde (14:00 h) quando julgou-se necessário, visando melhorar o controle do momento de início das irrigações.

$$L_L = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) * z \quad (2)$$

Em que:

L_L - Lâmina líquida de irrigação (mm);

θ_{cc} - Umidade do solo na capacidade de campo (cm³.cm⁻³);

θ_{atual} - Umidade atual do solo (cm³.cm⁻³);

z - Profundidade efetiva do sistema radicular (300 mm).

$$L_B = \frac{L_L}{(1-K)*CUD} \quad (3)$$

Em que:

L_B - Lâmina bruta (mm);

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição do sistema de irrigação (%);

K - Constante que leva em conta a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação. Esta variável foi calculada de acordo com a Equação 4.

$$K=1-E_a \quad (4)$$

E_a - eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (0,87).

$$T = \frac{L_B * A}{e * q_m} \quad (5)$$

Em que:

T - Tempo de funcionamento do sistema de irrigação (horas);

A - Área ocupada por canteiro (1,6 m²);

q_m - Vazão média dos emissores (1,62 L.h⁻¹);

e - Número de emissores por canteiro (12).

O teste de uniformidade de distribuição de água, foi realizado

posteriormente à instalação do sistema de irrigação, visando a obtenção do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (KELLER e KARMELI, 1974) (Equação 6) e o Coeficiente de Variação total (CVt), determinado pela relação entre o desvio padrão das médias e a vazão média. Pizarro (1996), apresenta uma classificação da uniformidade com base no valor do CVt (Tabela 2). Para isso foram selecionadas 4 parcelas experimental, no qual foram coletados em recipientes posicionados em cada emissor por um período de 1 minuto. O volume de água foi estimado pelo método gravimétrico no qual se considera a massa de água igual ao seu volume, devido a massa específica da água ser aproximadamente a 1g.cm⁻³. Este volume foi coletado num tempo de 1 minuto, e então se obteve a vazão de cada emissor.

$$CUD = \frac{q_{25}}{q_m} \quad (6)$$

Em que:

q_{25} - média das 25% menores vazões coletadas;

q_m - média das vazões coletadas.

Tabela 2. Classificação do coeficiente de variação total da vazão (CVt).

Valores de CVt	Classificação
$CVt \leq 0,10$	Excelente
$0,10 < CVt \leq 0,20$	Muito Bom
$0,20 < CVt \leq 0,30$	Aceitável
$0,30 < CVt \leq 0,40$	Baixo
$CVt > 0,40$	Inaceitável

Fonte: Adaptada (PIZARRO, 1996).

Utilizou-se a cultivar de beterraba *Early Wonder Tall Top*, que possui como principais características: raiz tuberosa de formato globular, de coloração vermelha intensa e diâmetro transversal de 6 a 8 cm.

O ciclo da cultura gira em torno de 60 a 70 dias (TIVELLI et al., 2011).

Os fertilizantes com nitrogênio e potássio em cobertura, foram aplicados em 3 parcelas, sendo uma aos 10 dias antes do transplântio (adubação de base), o restante

aos 15 e 45 dias após o transplântio (adubação de cobertura). Os fertilizantes de fósforo e boro foram aplicados em parcela única aos 10 dias antes do transplântio. As

épocas de aplicação das fontes de nutrientes utilizadas e suas respectivas dosagens são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Épocas de aplicação, fontes de nutrientes e dosagens dos adubos.

Data	Dias após o transplântio	Fertilizantes (fontes de nutrientes)	Dosagem aplicada ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)
15/02/2016	0	Ácido Bórico	2
15/02/2016	0	Superfosfato simples	167
15/02/2016	0	Nitrato de Potássio	26
11/03/2016	15	Nitrato de Potássio	26
11/04/2016	45	Nitrato de Potássio	26

Durante o experimento, foram registrados diariamente os valores contínuos de temperatura máxima, mínima e média do ar, por meio de um sistema automático de coleta de dados (Termo higrômetro) instalado a 1,5 m de altura da superfície do solo, no centro da casa de vegetação.

O início da colheita foi definido seguindo orientações de Tivelli *et al.* (2011), que para a cultivar *Early Wonder Tall Top* gira em torno de 70 dias. O ponto de colheita foi definido quando as raízes atingiram o tamanho comercial, ou seja, de 6 a 8 cm de diâmetro transversal, o que ocorreu cerca de 75 dias após o transplântio.

As avaliações foram realizadas imediatamente após a colheita das parcelas úteis (24 plantas por parcela), sendo todas as repetições colhidas e avaliadas no mesmo dia. Sendo determinado o diâmetro transversal por meio de um parquímetro digital, massa fresca da raiz tuberosa obtida por meio de uma balança digital.

Estimou-se a população que teria um hectare (400.000 plantas), a partir da dimensão da parcela e do espaçamento utilizado na cultura da beterraba. A partir dos valores de massa fresca da raiz tuberosa

e da população de plantas por hectare, foi calculada a produtividade total.

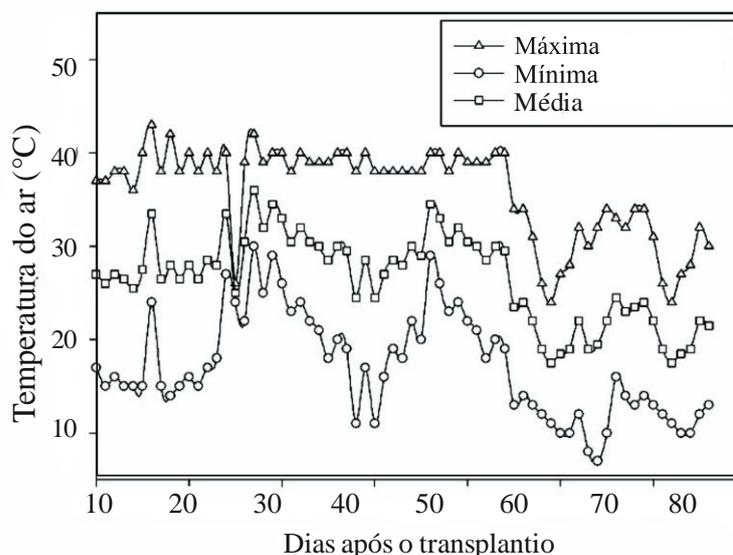
Pela relação entre os valores de produtividade total ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e as respectivas quantidades de água consumidas (mm) em cada tratamento durante o cultivo foi determinado a Eficiência do Uso da Água (EUA). Os resultados foram expressos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com a realização do teste F. O efeito dos tratamentos foi obtido pela análise de regressão. As equações de regressão foram selecionadas com base na significância dos coeficientes de regressão a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste de média e no maior valor do coeficiente de determinação (R^2). Utilizou-se o programa computacional Sisvar para Windows, versão 4.0 para análises estatísticas dos dados (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de condução do experimento, a temperatura média do ar atingiu 26,5 °C, enquanto as temperaturas máximas oscilaram entre 30 e 41°C e a mínima entre 7 e 29°C (Figura 4).

Figura 4. Temperatura diária máxima, mínima e média do ar, registradas no interior da casa de vegetação.



Nota-se pela média quinzenal durante o período estudado, que até a 3ª quinzena a temperatura média do ar foi superior a 25°C (Tabela 5). Segundo Filgueira (2008), Puiatti e Finger (2005) e Tivelli *et al.* (2011), a beterraba produz bem em temperaturas amenas ou baixas, com melhor desenvolvimento em temperatura ao

redor de 20°C, sendo não recomendável períodos com temperaturas acima de 25°C. Tullio *et al.* (2013), relatam que a produtividade pode ser reduzida em até 50 % quando cultivada no período do verão, em virtude do excesso de temperatura do ar e ao volume excessivo de chuva.

Tabela 5. Temperatura máxima, mínima e média do ar, a partir do 10º dia após o transplante, no interior da casa de vegetação.

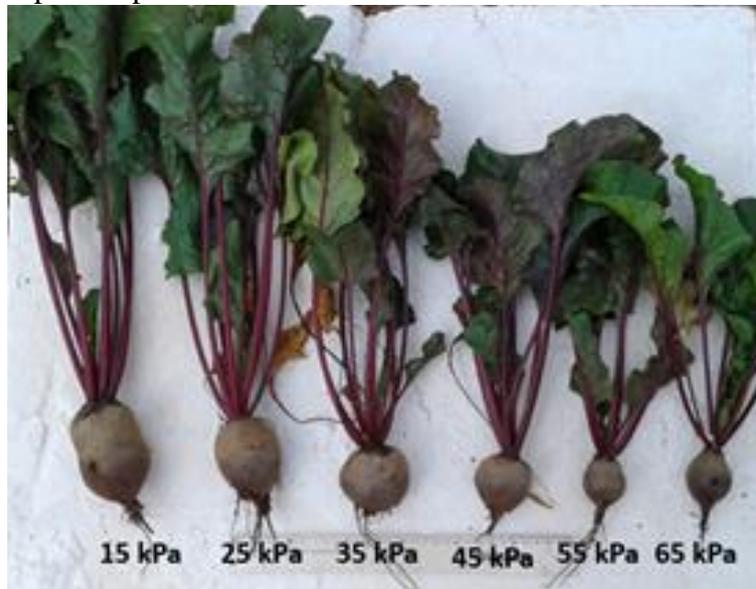
Temperatura do ar em °C			
Período	Máxima	Mínima	Média
1ª Quinzena	38,20	16,00	27,10
2ª Quinzena	38,60	23,20	30,90
3ª Quinzena	38,73	19,80	29,27
4ª Quinzena	31,80	12,60	22,20
5ª Quinzena	30,19	12,51	21,35

Contudo devido à temperatura do ar elevada nas três primeiras quinzenas, pode ter refletido diretamente no desenvolvimento da cultura, principalmente nos tratamentos de maiores tensões de água no solo (Figura 5). Segundo Taiz *et al.* (2017), a beterraba é classificada como sistema fotossintético do tipo C3 que contam com o esfriamento pela transpiração

para reduzir a temperatura foliar, a planta em déficit hídrico provoca o fechamento estomático parcial, o que reduz o seu potencial de resfriamento evaporativo. Os autores ainda relatam que, este estresse térmico em casas de vegetação é acentuado devido à baixa velocidade do ar e alta umidade relativa do ar, fatores que também contribuem negativamente para o

esfriamento foliar, ou seja, dificultando o resfriamento da cultura.

Figura 5. Aspecto das plantas de beterraba, submetidas nas diferentes tensões da água no solo destaque para as plantas com melhor desenvolvimento em cada tratamento



Para o teste e de uniformidade, estabelecendo uma pressão de 176 kPa medida na saída do cabeçal de controle, a vazão média encontrada por gotejador foi de 1,62 L h⁻¹, valor pouco superior ao indicado pelo catálogo do fabricante (1,6 L h⁻¹).

O coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) do sistema de irrigação utilizado, foi de 94% e o coeficiente de variação total de vazão (CVt) de 0,0531, significando que a água foi uniformemente distribuída nas parcelas em

qualquer nível de irrigação, não se constituindo em uma fonte de variação adicional ao experimento. Segundo Frizzone *et al.* (2012), para sistema de microirrigação o CUD para ser considerado como excelente deve estar acima de 90% e com o CVt inferior a 0,05.

Em geral, a tensão de água no solo afetou significativamente na massa fresca da raiz, diâmetro transversal, produtividade e no uso eficiente da água, seguindo um modelo de regressão linear (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância e de regressão para a Massa Fresca da Raiz (MFR), Diâmetro Transversal, Produtividade Total, Uso Eficiência da Água (EUA) em função das tensões da água no solo.

Fonte de Variação	G.L	Quadrado Médio			
		MFR	Diâmetro Transversal	Produtividade Total	EUA
Tensão	5	8.310,78**	327,17**	1.389,82**	10.671,10**
Bloco	3	1.331,85*	45,73 ns	205,47 ns	3614,39 ns
Resíduo	15	310,97	17,77	85,72122	1.135,27
Média		84,37 g.planta ⁻¹	46,87 mm	34,08 Mg.ha ⁻¹	155,76 kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹
CV (%)		20,90	8,99	27,17	21,83
Linear	1	39.556,13**	85,39**	6.558,13**	47.506,86**
Quadrática	1	1.007,35 ns	0,35 ns	150,11 ns	2.544,19 ns
Cúbica	1	619,53 ns	3,61 ns	145,17 ns	5,60 ns
Desvios	3	185,44 ns	2,10 ns	32,29 ns	1649,43 ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) realizada pelo teste F

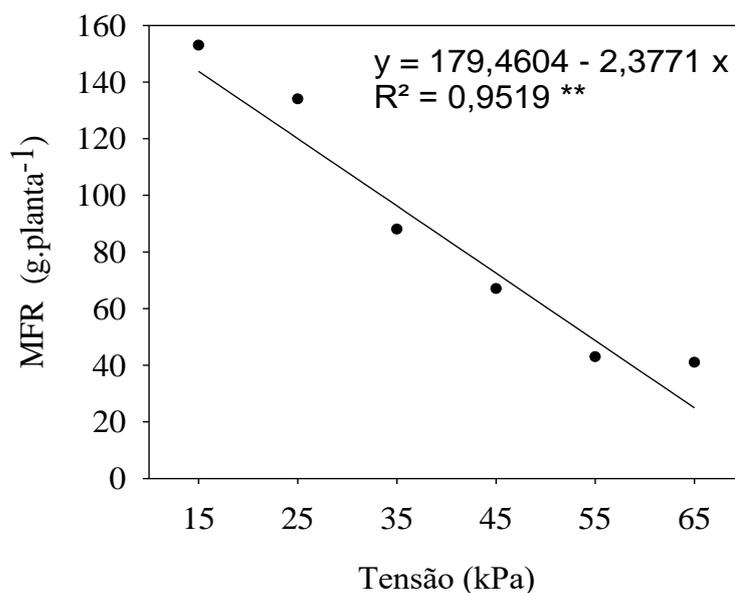
*significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,01$) realizado pelo teste F

ns - não significativo ($p \geq 0,05$).

Com relação a massa fresca da raiz, houve um decréscimo de 2,37 g em função a cada aumento unitário da tensão de água no solo (Figura 6). Silva *et al.* (2015), avaliando a tensão de água no solo e seus efeitos na produtividade da beterraba, encontraram o maior rendimento de MFR

na tensão de 15kPa e o menor rendimento na tensão de 65 kPa. Este resultado vem a de encontro ao experimento e reforça que a tensão de 15 kPa pode ser a mais indicada quando se procura um melhor rendimento da cultura.

Figura 6. Efeito de diferentes tensões da água no solo, na massa fresca da raiz (MFR).

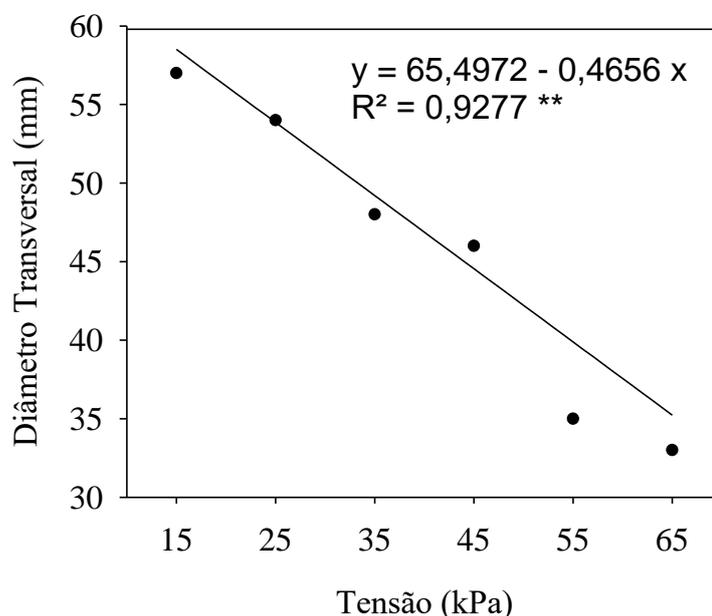


Experimentos de manejo por lâminas irrigadas realizadas por Carvalho *et al.* (2011) e Fabeiro *et al.* (2003), em ambos os casos não houve diferença estatística da MFR entre os tratamentos. A MFR máxima encontrada nos seus respectivos experimentos foi de 177 g planta⁻¹ e 145 g planta⁻¹. Segundo Silva *et al.* (2015), na medida em que se eleva a tensão de água no solo, ocorre o efeito de dificultar que a beterraba absorva a água,

sendo necessário um gasto maior de energia para absorção de água e nutrientes, refletindo na redução da produção.

Os níveis de tensão afetaram o diâmetro da beterraba (Figura 7), relacionando em forma linear decrescente. As maiores medidas no diâmetro foram encontradas por meio da equação linear ajustada na tensão de 15 kPa e 25 kPa, obtendo o valor de 58,51 mm e 53,87 mm respectivamente.

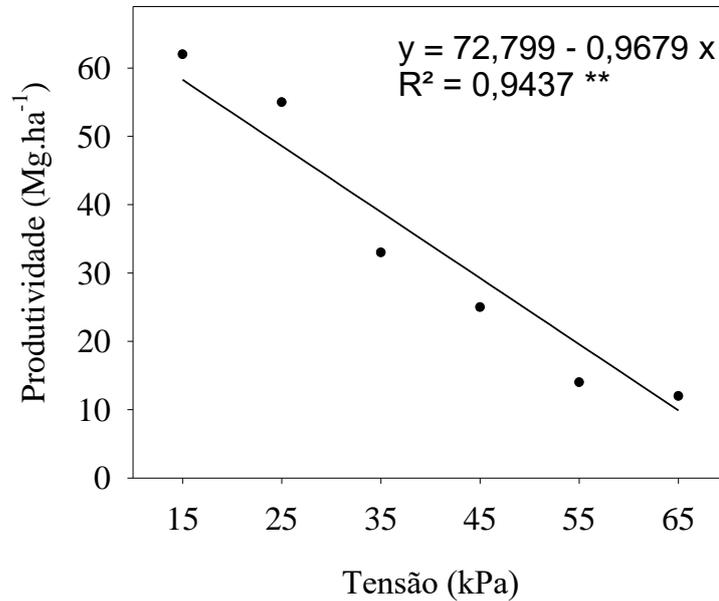
Figura 7. Efeito de diferentes valores da tensão de água no solo, no diâmetro da raiz tuberosa.



A classificação comercial da beterraba é definida pelo calibre da raiz tuberosa, sendo consideradas dentro da faixa comercial beterrabas com diâmetros transversais superiores a 50 mm (TIVELLI *et al.*, 2011). Resultados análogos foram encontrados por Silva *et al.* (2015), onde a variação do diâmetro da beterraba, seguiu a tendência linear em função da tensão de água no solo e do mesmo modo, encontrando diâmetros inferiores a 50 mm quando a cultura foi submetida a tensão acima de 35 kPa. Os resultados demonstram a faixa ideal de tensão de água no solo, para se garantir que o diâmetro esteja dentro do limite da classe comercial, que deva ser,

inferior a 35 kPa. Segundo Sousa *et al.* (2011), em via de regra, as hortaliças irrigadas por gotejamento apresentam melhor desenvolvimento, quando submetidas a tensões inferiores a 40 kPa.

As variações na produtividade total podem ser explicadas pela equação de regressão linear decrescente a 1% de probabilidade (Figura 8). A máxima produtividade foi encontrada na tensão de 15 kPa, por meio da equação linear ajustada para esta tensão a produtividade foi de 58,28 Mg ha⁻¹. Este valor foi inferior aos encontrados por Silva *et al.*, (2015), que para mesma tensão os autores encontraram uma produtividade de 63,3 Mg ha⁻¹.

Figura 8. Efeito de diferentes valores de tensão de água na produtividade total.

Experimentos utilizando o manejo com base na evapotranspiração na cultura da beterraba açucareira realizado por Fabeiro *et al.* (2003) e Topak, Suheri e Acar (2010), obtiveram uma produção de 77,3 e 118 Mg.ha⁻¹ respectivamente. Ressalva que nos experimentos com diferentes níveis de lâminas de irrigação, as produtividades foram iguais estaticamente quando se considerava uma lâmina mínima aplicada correspondente a 50% da evapotranspiração (KIYMAZ e ERTEK, 2015).

No entanto nos estudos realizado por Topak, Suheri e Acar (2010) e Carvalho *et al.* (2011), no qual a lâmina mínima aplicada foi de 25% da evapotranspiração, houve diferença significativa na produtividade. Percebe-se que a cultura da beterraba tolera um déficit máximo de 50% da evapotranspiração a ser aplicada, quando se trata por manejo via umidade no solo este limite crítico pode ter sido ultrapassado nas maiores tensões de água no solo (acima de 35 kPa), afetando diretamente no rendimento da cultura. Mahmoud *et al.* (2018), afirma que pode haver uma redução da produtividade quando a beterraba passa por estresse hídrico, chegando a uma perda

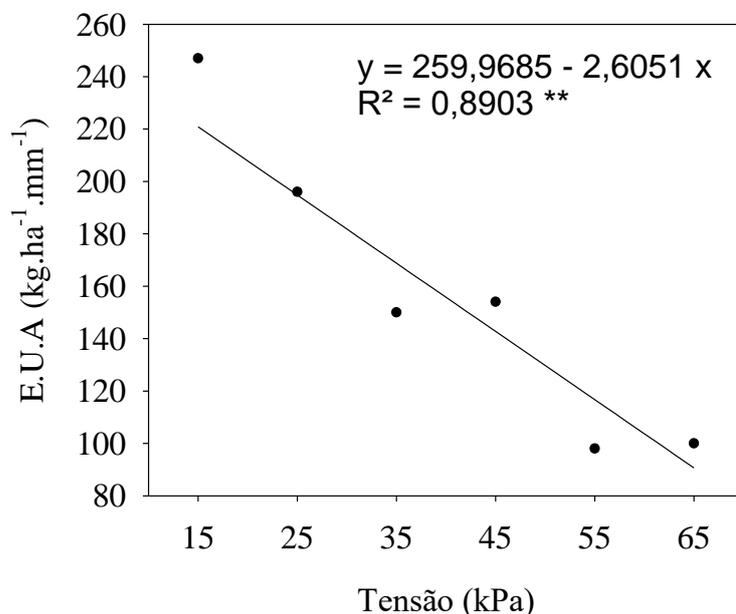
de cerca de 35% quando se submeteu a cultura a um déficit hídrico de 70%.

De acordo com a Figura 9, verifica-se que a EUA apresentou efeito linear decrescente com a tensão de água no solo. Pelo método de manejo de irrigação por sensores no solo foi possível estabelecer esta relação significativa. Estudos avaliando diferentes regimes de irrigação, com o manejo de irrigação com base de lâmina aplicada em função da evapotranspiração realizado por Topak, Suheri e Acar (2010), Kiyamaz e Ertek (2015) e Fabeiro *et al.* (2003), não observaram diferença estatística na EUA.

O aumento de uma unidade na tensão reduz em 2,60 kg.ha⁻¹.mm⁻¹. Os resultados diferem dos encontrados por Silva, Silva e Klar (2015), utilizando a mesma cultivar e mesmos níveis de tensão de água no solo apresentaram redução de 5,34 kg.ha⁻¹.mm⁻¹. Em estudos aplicando de diferentes lâminas de irrigação, por gotejamento, na cultura de beterraba açucareira, Fabeiro *et al.* (2003) encontraram uma máxima eficiência de 170,55 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, enquanto Kiyamaz e

Ertek (2015) obtiveram a máxima eficiência de $130 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.

Figura 9. Efeito de diferentes valores de tensão de água no solo na Eficiência do Uso da Água (EUA).



Para a cultivar Early Wonder, Silva, Silva e Klar (2015) encontraram a EUA máxima ($393,1 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) quando a beterraba foi submetida a tensão de água de solo a 15 kPa. Neste estudo, a EUA máxima foi de $221 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ obtido pela equação linear ajustada na tensão de água no solo correspondente a 15 kPa.

Mahmoud *et al.* (2018), demonstra que com a maior disponibilidade de água há um maior rendimento da raiz e conseqüentemente na EUA que neste estudo foi de $130 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ no qual foram adquiridos quando se utilizou da irrigação por gotejo a uma quantidade total de água de 598 mm para todo o ciclo da cultura.

Geralmente em experimentos que se utilizam o manejo de irrigação com base na evapotranspiração, todas as parcelas são irrigadas com o mesmo turno de rega, mas com lâminas de irrigação em níveis diferenciados. Diferentemente do que ocorre em manejo baseado na umidade do

solo, onde o turno de rega não é fixado, ou seja, o intervalo entre as irrigações pode variar dependendo da tensão crítica estabelecida. Deste modo, dependendo do nível de tensão de água no solo adotado, pode ocorrer um déficit hídrico mais acentuado em relação aos outros métodos de manejo de irrigação, devido à ausência de fornecimento de água por um longo período.

6 CONCLUSÃO

Para obtenção de maiores valores de massa fresca da raiz tuberosa e parte aérea, diâmetro da raiz tuberosa, número e comprimento de folhas, produtividade e uso eficiente de água neste experimento sugere que, as irrigações devem ser realizadas quando a tensão de água no solo estiver em torno de 15 kPa medida a 15 cm de profundidade.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56; **FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome:FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56)
- CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e Manejo da Água na Agricultura Irrigada**. Viçosa: Ed. UFV, p. 240p., 2012.
- CARVALHO, D. F. DE; OLIVEIRA NETO, D. H. DE; RIBEIRO, R. DE L. D.; GUERRA, J. G. M.; ROUWS, J. R. C. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 269–277, 2011.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. DE; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862–1866, 2007.
- DOS SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; DE ALMEIDA, J. A.; DE ARAUJO FILHO, J. C.; DE OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. [s.l.] Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten. **Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3, 00 beta)**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001.
- FABEIRO, C.; DE SANTA OLALLA, F. M.; LÓPEZ, R.; DOMINGUEZ, A. Production and quality of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 62, n. 3, p. 215–227, 2003.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: Um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Editora UFV, 2008.
- FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012.
- GENUCHTEN, V. M. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, Wisconsin, USA, v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.

GRANGEIRO, L. C.; ZULEIDE DE NEGREIROS, M.; SAVANA DE SOUZA, B.; ESCÓSSIA DE AZEVÊDO, P.; LIMA DE OLIVEIRA, S.; APARECIDA DE MEDEIROS, M. Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba Accumulation and exportation of nutrients in beet crop. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 267–273, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H.; RIBEIRO, A. C. **Recomendações Para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais**. [s.l.] Comissão de Fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, Viçosa, 1999.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, Rome, v. 17, n. 4, p. 678–684, 1974.

KIYMAZ, S.; ERTEK, A. Water use and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under drip irrigation at different water regimes. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 158, p. 225–234, 2015.

MAHMOUD, E. S. A.; HASSANIN, M. A.; BORHAM, T. I.; EMARA, E. I. R. Tolerance of some sugar beet varieties to water stress. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 201, n. January, p. 144–151, 2018.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Mudança do Clima Prospecção Tecnológica**, Brasília, v. 13, n. 27, p. 149–176, 2006.

PIRES, R. C. DE M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. DE O.; BRUNINI, O. Agricultura Irrigada. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 98–111, 2008.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. Madrid: Mundi-Prensa, 1996.

PUIATTI, M.; FINGER, F. L. Fatores climáticos. In: FONTES, P. C. R. **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa: Editora UFV, 2005. p. 17-30.

SILVA, A. O.; SILVA, Ê. F.; BASSOI, L. H.; KLAR, A. E. Desenvolvimento de cultivares de beterraba sob diferentes tensões da água no solo. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 33, n. 1, p. 12–18, 2015a.

SILVA, A. O. DA; SILVA, Ê. F. F. E.; KLAR, A. E. Manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, p. 230–241, 2015b.

SILVA WLC; MAROUELLI WA. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: FARIA MA; SILVA EL; VILELA LAA; SILVA AM. (Ed.). **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas; UFLA/SBEA, p 311- 348. 1998.

SOUSA, V. E.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. C. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, EMBRAPA Informação

Tecnológica, p. 771, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. MAX; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. [s.l.], Rio Grande do Sul, Artmed Editora, 2017.

TARKALSON, D. D.; KING, B. A.; BJORNEBERG, D. L. Yield production functions of irrigated sugarbeet in an arid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 200, p. 1–9, 2018.

TIVELLI, S. W.; FACTOR, T. L.; TERAMOTO, J. R. S.; FABRI, E. G.; MORAES, A. R. A. DE; TRANI, P. E.; MAY, A. Beterraba: do plantio à comercialização. **Boletim Técnico IAC**, n. 210, Campinas, p. 45, 2011.

TOPAK, R.; SÜHERI, S.; ACAR, B. Comparison of energy of irrigation regimes in sugar beet production in a semi-arid region. **Energy**, Aalborg, Denmark, v. 35, n. 12, p. 5464–5471, 2010.

TULLIO, J. A.; OTTO, R. F.; BOER, A.; OHSE, S. Cultivo de beterraba em ambientes protegido e natural na época de verão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1074–1079, 2013.