

PATRÍCIA COSTA SILVA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TECNOLÓGICAS DE VARIEDADES DE
SORGO SACARINO E PROPRIEDADES DO SOLO EM FUNÇÃO DE LÂMINAS
DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

Botucatu

2018

PATRÍCIA COSTA SILVA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TECNOLÓGICAS DE VARIEDADES DE
SORGO SACARINO E PROPRIEDADES DO SOLO EM FUNÇÃO DE LÂMINAS
DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Irrigação e
Drenagem).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Helena
Moraes Spinelli

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S586c	Silva, Patrícia Costa, 1979- Características agronômicas e tecnológicas de variedades de sorgo sacarino e propriedades do solo em função de lâminas de irrigação por gotejamento / Patrícia Costa Silva. - Botucatu: [s.n.], 2018 102 p.: ils. color., grafs. color., tabs. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018 Orientadora: Maria Helena Moraes Spinelli Inclui bibliografia 1. Sorgo sacarino - Cultivo. 2. Irrigação por gotejamento. 3. Manejo da irrigação. 4. Solos - Propriedades físicas. I. Spinelli, Maria Helena Moraes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.
-------	--

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

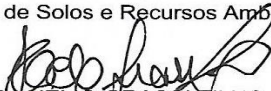
TÍTULO DA TESE: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TECNOLÓGICAS DE VARIEDADES DE SORGO SACARINO E PROPRIEDADES DO SOLO EM FUNÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

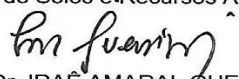
AUTORA: PATRÍCIA COSTA SILVA

ORIENTADORA: MARIA HELENA MORAES SPINELLI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, SP


Prof. Dr. DULÍLIO GRASSI FILHO
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. IRAÊ AMARAL GUERRINI
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu


Prof. Dr. RICARDO ALEXANDRE LAMBERT
Agronomia / Instituto Luterano de Ensino Superior de Itumbiara - ILES/ULBRA


PROFA. DRA. ALINE AZEVEDO NAZARIO
Água e Solo/Reuso de Água na Agricultura / Centro Universitário Adventista de São Paulo - Engº Coelho

Botucatu, 14 de maio de 2018

Aos meus pais Pedro Eduardo da Silva (in memoriam) e

Marlene da Costa Silva, pelo amor incondicional.

Ao meu amado filho João Pedro Costa Neto,

dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por ter me concedido a vida, saúde, sabedoria, inteligência, por me fortalecer em todos os momentos de minha vida.

Aos meus amados pais irmãos pelo amor, carinho, compreensão, por terem se esforçado a fim de que eu pudesse alcançar meus objetivos profissionais e meus sonhos.

Ao meu filho João Pedro Costa Neto, pelo apoio e amor incondicional, sempre ao meu lado.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas, Câmpus Botucatu (FCA/ Unesp), por fazer parte do corpo discente e pelo título concedido.

À Profa. Dra. Maria Helena Moraes Spinelli, pela orientação, pelo conhecimento e ensinamentos transmitidos; pela paciência e compreensão. Deixo aqui, professora, a minha admiração.

Ao coordenador do Programa e professor Dr. Rodrigo Máximo S. Román, aos professores Célia Regina Lopes Zimback, Hélio Grassi Filho, João Carlos Cury Saad, João Luís Zocoler, Iraê Amaral Guerrini e a todos que contribuíram para meu crescimento profissional.

Aos amigos Pedro Rogerio Giongo e Adriana Rodolfo da Costa, pelas informações e conhecimentos transmitidos; vocês foram muito importantes na realização deste.

Aos meus alunos e amigos: Brenner Cabalheiro dos Santos, Patrícia Cardoso da Silva, Darlene Matos dos Santos e Jessica Geronutti, que me auxiliaram no campo e em laboratório; muito obrigada pelo excelente trabalho!

Às minhas queridas amigas que tive o privilégio de conviver no tempo em que morei em Botucatu: Gleize Leviske Brito, Lilian, Mariane e Franciele.

À minha querida amiga Andreia Aparecida Ferreira, pela amizade, companheirismo, pelos conselhos, pelas barreiras superadas, enfim, por conseguirmos concluir nossa tão sonhada tese.

À Universidade Estadual de Goiás, Câmpus de Santa Helena de Goiás, e à diretora Nilcynéia Domingos Silva de Queiroz, pelo apoio na realização desta tese.

RESUMO

O cultivo de sorgo sacarino surgiu como alternativa para produção de massa destinada à fabricação de etanol, na entressafra, e em áreas de reforma do canavial e em áreas de rotação à outras culturas. Ainda são escassos estudos sobre a irrigação em sorgo sacarino, bem como os estudos que correlacionam lâminas de irrigação e a dinâmica dos nutrientes no solo e propriedades físicas. Este estudo teve como objetivos analisar o efeito da aplicação de lâminas de irrigação sob características tecnológicas e agronômicas de variedades de sorgo sacarino e nas propriedades do solo, e avaliar a eficiência do uso da água. O experimento foi conduzido em campo na área experimental da Universidade Estadual de Goiás, Câmpus de Santa Helena de Goiás. O delineamento adotado foi o de blocos casualizados com esquema fatorial 5x3, com 5 tratamentos, 3 cultivares de sorgo sacarino e 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos por 5 lâminas de irrigação: 25, 50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração de cultura (ETc) e as variedades avaliadas foram BRS 511, CVSW 80007 e Silotec 20. O sistema de irrigação empregado foi o localizado por gotejamento. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de significância. As médias para o fator variedades e propriedades do solo foram comparadas pelo teste de Tukey e para o fator lâminas de irrigação empregou-se a análise de regressão. Verificou-se que as lâminas de irrigação exerceram influência significativa nas características agronômicas e tecnológicas. A variedade BRS 511 adaptou-se melhor às condições edafoclimáticas locais com reflexo em maior altura de plantas, diâmetro de colmo, número de folhas e internódios, porcentagem de folhas, produtividade de colmos, massa verde da parte aérea, rendimento de caldo, produtividade de etanol e sólidos solúveis totais; e menor peso do bagaço úmido e teor de fibra industrial. Comparando-se as variedades em cada lâmina verificou-se variação a partir da lâmina 75% de reposição da evapotranspiração de cultura com ajustes linear e quadrático. A eficiência do uso da água (EUA) em todas as variedades e lâminas estudadas apresentou resposta linear decrescente, com maior EUA na lâmina de 25% da ETc. A variedade BRS 511 foi a mais recomendada para as condições edafoclimáticas da região avaliada e a lâmina mais indicada foi a equivalente a 100% da ETc. As lâminas de irrigação exerceram influência sobre a dinâmica das propriedades químicas no solo. Os maiores teores dos nutrientes foram encontrados na camada de 0-0,10 m, à medida que aumentou a disponibilidade

hídrica; para as lâminas de 100 e 125 % da ETc houve aumento dos teores de nutrientes e de matéria orgânica do solo; entre as variedades e as camadas de solo houve variação somente para o potássio e o alumínio. As propriedades físicas não foram afetadas pelo cultivo das variedades e lâminas de irrigação, apenas pelas camadas amostradas.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Etanol. Sistema localizado. Características físicas e químicas do solo. Eficiência do uso de água.

ABSTRACT

Cultivation of sorghum emerged as an alternative for the production of mass destined to the manufacture of ethanol, in the off season, and in areas of reforestation of cane fields and in areas of rotation to other crops. There are still few studies on irrigation in sorghum, as well as studies that correlate irrigation slides and the dynamics of soil nutrients and physical properties. The objective of this study was to analyze the effect of the application of irrigation slides under the technological and agronomic characteristics of sorghum varieties and soil properties, and to evaluate the efficiency of water use. The experiment was conducted in the experimental area of the State University of Goiás, Campus of Santa Helena de Goiás. The experiment was a randomized complete block design with 5x3 factorial, with 5 treatments, 3 sorghum cultivars and 4 replicates. The treatments consisted of 5 irrigation slides: 25, 50, 75, 100 and 125% of crop evapotranspiration (ET_c) and the varieties evaluated were BRS 511, CVSW 80007 and Silotec 20. The irrigation system was located by drip. The data were submitted to analysis of variance by the F test at 5% of significance. The averages for the factor varieties and soil properties were compared by the Tukey test and for the irrigation lamina factor the regression analysis was used. It was verified that the irrigation slides exerted significant influence on the agronomic and technological characteristics. The BRS 511 variety was better adapted to local edaphoclimatic conditions with higher plant height, stem diameter, number of leaves and internodes, leaf percentage, shoot yield, shoot shoot mass, broth yield, seed yield ethanol and total soluble solids; and lower weight of the wet cake and industrial fiber content. Comparing the varieties on each slide, a variation was observed from the 75% replacement blade of the crop evapotranspiration with linear and quadratic adjustments. Efficiency of water use in all varieties and slides studied presented a linear decreasing response, with a higher USA in the 25% ET_c blade. The BRS 511 was the most recommended for the soil and climatic conditions of the evaluated region and the most indicated blade was the equivalent to 100% of the ET_c. Irrigation slides influenced the dynamics of soil chemical properties. The highest levels of nutrients were found in the 0-0.10 m layer, as water availability increased; for the slides of 100 and 125% of the ET_c there was an increase in nutrient and soil organic matter contents; between varieties and soil layers there was variation only for potassium and aluminum.

The physical properties were not affected by cultivation of the irrigation varieties and slides, only by the sampled layers.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Ethanol. Localized system. Physical and chemical characteristics of the soil. Water use efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação esquemática do experimento no campo.....	33
Figura 2– Lâminas de irrigação aplicadas durante o ciclo do sorgo sacarino em função dos tratamentos.....	42
Figura 3 – Altura de plantas das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)	45
Figura 4 – Diâmetro de colmos das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)	47
Figura 5 – Florescimento das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)	49
Figura 6 – Massa verde da parte aérea das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)	51
Figura 7 – Produtividade de colmos das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)	53
Figura 8 – Porcentagem de folhas das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evaporação do tanque Classe A (%ETc)	55
Figura 9 – Sólidos solúveis totais do caldo das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evaporação do tanque Classe A (%ETc)	56
Figura 10 –Rendimento de caldo das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)	58
Figura 11 – Produtividade de etanol das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)	60

Figura 12 – Peso do bagaço úmido das variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc).....	62
Figura 13 – Teor de fibra industrial das variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc).....	63
Figura 14 – Eficiência do uso da água das variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)	64
Figura 15 – Teores de cálcio sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	67
Figura 16 – Teores de magnésio sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	68
Figura 17 – Teores de fósforo sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	70
Figura 18 – Teores de H + Al sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	73
Figura 19 – Capacidade de troca catiônica sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	75
Figura 20 – Saturação por bases sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	76
Figura 21 – Teores de matéria orgânica sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	78
Figura 22 – Teores de carbono orgânico sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	79
Figura 23 – Soma de bases sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	81
Figura 24 – Valores de pH sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da análise física do solo da área experimental.....	34
Tabela 2 - Resultados da análise química do solo da área experimental.....	34
Tabela 3 - Valores de CUC, CUD e EA, para o experimento e a classificação dos mesmos.....	38
Tabela 4 - Análise de variância das variedades de sorgo sacarino, das seguintes características: altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF), número de internódios (NI) e florescimento (Flor)	43
Tabela 5 - Análise de variância dos dados de variedades de sorgo sacarino, para as características massa verde da parte aérea (MVPA), produtividade de colmos (PC), porcentagem de folhas (PF), sólidos solúveis totais do caldo (SST), rendimento de caldo (RC).....	43
Tabela 6 - Resumo da análise de variância das variedades de sorgo sacarino, para as características produção de etanol (PE), peso do bagaço úmido (PBU), teor de fibra industrial (TFI) e eficiência do uso de água (EUA)	44
Tabela 7 - Altura de plantas das variedades de sorgo sacarino em função das lâminas de irrigação.....	46
Tabela 8 - Altura de plantas de sorgo sacarino em função das variedades.....	46
Tabela 9 - Diâmetro de colmo das plantas de sorgo sacarino em função das variedades.....	48
Tabela 10 - Número de folhas e internódios das plantas de sorgo sacarino em função das variedades.	48
Tabela 11 - Florescimento (dias após semeadura) das variedades de sorgo sacarino em função das lâminas de irrigação.....	50
Tabela 12 - Florescimento (dias após semeadura) das plantas de sorgo sacarino em função das variedades.....	50
Tabela 13 - Produtividade de colmos ($t\ ha^{-1}$) das plantas de sorgo sacarino em função das variedades.....	54
Tabela 14 - Sólidos solúveis totais (°Brix) das variedades de sorgo sacarino em função das lâminas de irrigação.....	57
Tabela 15 - Sólidos solúveis totais (°Brix) variedades de sorgo sacarino.....	57

Tabela 16 - Rendimento de caldo ($L\ ha^{-1}$) das variedades de sorgo sacarino em função das lâminas de irrigação.	59
Tabela 17 - Rendimento de caldo ($L\ ha^{-1}$) das plantas de sorgo sacarino em função das variedades.....	60
Tabela 18 - Resumo da análise de variância para as propriedades químicas cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio + alumínio (H+Al), potássio (K), fósforo (P), em função de lâminas, variedades e camadas.....	65
Tabela 19 - Resumo da análise de variância para as propriedades químicas capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V), pH do solo (pH), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO), em função de lâminas, variedades e camadas	65
Tabela 20 - Teores de cálcio ($cmol_cdm^{-3}$) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	67
Tabela 21- Teores de magnésio ($cmol_cdm^{-3}$) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	69
Tabela 22 - Teores de potássio ($cmol_cdm^{-3}$) em função das variedades e camadas amostradas.....	69
Tabela 23 - Teores de fósforo ($mg\ dm^{-3}$) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	71
Tabela 24 - Teores de fósforo ($mg\ dm^{-3}$) em função das variedades e camadas amostradas.....	72
Tabela 25 - Teores de alumínio ($cmol_cdm^{-3}$) em função das variedades e camadas amostradas.....	72
Tabela 26 - Teores de hidrogênio e alumínio ($cmol_cdm^{-3}$) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	74
Tabela 27 - Capacidade de troca catiônica ($cmol_cdm^{-3}$) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	75
Tabela 28 - Saturação por bases (%) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	77
Tabela 29 - Teores de matéria orgânica ($g\ dm^{-3}$) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	78

Tabela 30 - Teores de carbono orgânico (g dm^{-3}) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	80
Tabela 31 - Soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	81
Tabela 32 - Valores de pH do solo em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação.....	83
Tabela 33 - Resumo da análise de variância para as propriedades físicas densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p), capacidade de campo (CC), condutividade hidráulica (CH), argila dispersa (AD) e grau de floculação (GF) em função de lâminas, variedades e camadas.....	83
Tabela 34 - Valores de densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p), capacidade de campo (CC) e condutividade hidráulica (CH) em função das camadas amostradas.....	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	Cultura do sorgo sacarino.....	23
2.2	Potencial produtivo de sorgo sacarino.....	23
2.3	Eficiência do uso de água pela cultura do sorgo sacarino.....	25
2.4	Irrigação por gotejamento.....	26
2.5	Manejo da Irrigação e Evapotranspiração.....	27
2.6	Irrigação sob características tecnológicas e produtivas destinadas à produção de etanol.....	29
2.7	Propriedades físicas do solo e a água no solo.....	29
2.8	Lâminas de irrigação e a dinâmica dos nutrientes no solo.....	30
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Área experimental.....	32
3.2	Delineamento experimental, caracterização dos tratamentos e variedades.....	32
3.2.1	Características das variedades.....	33
3.3	Preparo da área e tratos culturais.....	34
3.4	Sistema empregado e manejo da irrigação.....	35
3.5	Características avaliadas.....	39
3.5.1	Características agronômicas e tecnológicas das variedades de sorgo sacarino.....	39
3.5.2	Eficiência do uso da água	40
3.5.3	Análise química do solo.....	40
3.5.4	Análise física do solo.....	41
3.6	Análise estatística.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1	Lâminas aplicadas ao longo do ciclo do sorgo sacarino.....	42
4.2	Análise de variância das características agronômicas e tecnológicas das variedades de sorgo sacarino.....	42
4.3	Características tecnológicas e agronômicas.....	44
4.3.1	Altura de plantas.....	44

4.3.2	Diâmetro de colmo.....	46
4.3.3	Número de folhas e número de entrenós.....	48
4.3.4	Florescimento.....	48
4.3.5	Massa verde da parte aérea.....	50
4.3.6	Produtividade de colmos.....	52
4.3.7	Porcentagem de folhas.....	54
4.3.8	Sólidos solúveis totais do caldo.....	55
4.3.9	4.3.9 Rendimento de caldo.....	57
4.3.10	Produtividade de etanol.....	60
4.3.11	Peso do bagaço úmido.....	61
4.3.12	Teor de fibra industrial.....	62
4.4	Eficiência do uso da água.....	63
4.5	Análise química do solo.....	64
4.5.1	Análise de variância das propriedades químicas do solo.....	64
4.5.2	Cálcio.....	66
4.5.3	Magnésio.....	68
4.5.4	Potássio.....	69
4.5.5	Fósforo.....	70
4.5.6	Alumínio.....	72
4.5.7	Acidez potencial.....	73
4.5.8	Capacidade de troca catiônica.....	74
4.5.9	Saturação por bases.....	76
4.5.10	Matéria orgânica.....	77
4.5.11	Carbono orgânico.....	79
4.5.12	Soma de bases.....	80
4.5.13	pH do solo.....	82
4.6	Análise física do solo.....	83
5	CONCLUSÕES.....	86
	REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

O consumo crescente de combustíveis fósseis, aliado às reservas existentes, bem como às mudanças climáticas ocasionadas pela emissão de dióxido de carbono, impulsionaram a necessidade de alteração das fontes energéticas mundiais. A procura por fontes renováveis e sustentáveis provenientes da exploração de culturas, como cana-de-açúcar e sorgo sacarino, vêm-se expandido nos últimos anos. O Brasil é um dos países com potencial agrícola, destinado à produção de combustíveis provenientes de fontes agrícolas (MAY et al., 2012).

O país, é um dos que detêm maior experiência na produção de etanol e, dessa forma, a agricultura passou a ser vista como uma das alternativas viáveis e promissoras para oferta energética sustentável. Neste contexto, a cultura do sorgo sacarino surgiu como importante fonte para produção de massa destinada à produção de álcool, na entressafra quanto em regiões não adaptadas ao cultivo da cana (BERNARDINO et al., 2012). Esta cultura também pode ser integrada em sucessão ao milho e à soja.

O sorgo sacarino é uma cultura rústica e adaptável à diferentes tipos de clima e de solo (SANTOS et al., 2014). Propaga-se via sementes, é responsivo à aplicação de fertilizantes, possui ciclo curto, totalmente mecanizável, alta produtividade de colmos bem como, de etanol. As quantidades de sólidos solúveis totais são semelhantes aos encontrados na cana, sendo que nos colmos do sorgo sacarino há acúmulo de açúcares fermentescíveis e, portanto, enquadra-se perfeitamente ao sistema de produção sucroalcooleiro (DURÃES, 2011). Essas características reforçam, ainda, a possibilidade de otimizar o uso de implementos e mão-de-obra, aumentando o período de funcionamento das usinas.

Várias regiões brasileiras ganham destaque por apresentar condições favoráveis à produção de cana e sorgo sacarino, e este fato, aliado ao fornecimento de água via irrigação localizada por gotejamento pode contribuir para ampliar as terras designadas à produção de biocombustível e açúcar. Dentre os sistemas de irrigação localizada, o gotejamento é considerado como eficiente no fornecimento de água ao solo contribuindo para ampliar a produtividade. Além do mais, é um dos sistemas que tem se expandido por apresentar menor gasto de água e energia; facilidade de automação

e aplicação de fertilizantes, bem como eficiência de condução e aplicação de água (RIBEIRO et al., 2010). Uma das finalidades da agricultura é investir em tecnologias que visam minimizar o gasto de água e melhorar a qualidade do produto colhido.

Com a utilização da irrigação por gotejamento, o fornecimento de água pode ser efetuado com a adição de lâminas de irrigação considerando-se a evaporação que ocorre no tanque Classe A, segundo os coeficientes de cultura. O tanque Classe A tem sido empregado para manejar a irrigação de vários cultivos, com a finalidade de reduzir as perdas por falta ou excesso de água. Estudos sobre a irrigação em sorgo sacarino ainda são escassos, bem como os estudos que correlacionam lâminas de irrigação e a dinâmica dos nutrientes no solo e propriedades físicas. Logo, a irrigação pode ocasionar melhorias no sistema agrícola, bem como aumento na produtividade de massa verde, na qualidade tecnológica da cultura e alterações nas propriedades do solo. Portanto, a pesquisa teve como objetivos estudar o efeito da aplicação de lâminas de irrigação nas características agrônômicas e tecnológicas de variedades de sorgo sacarino e nas propriedades do solo, e avaliar a eficiência do uso da água.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do sorgo sacarino

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) pertence à família Poaceae, sendo uma cultura originária da África. O Brasil conta com materiais genéticos provenientes da África, Estados Unidos, Europa e Ásia (SIMÕES, 2011). Trata-se de uma planta autógama de dias curtos, clima quente, possuindo alta taxa fotossintética e metabolismo C4, porte alto (2 a 4m), reproduzindo por sementes, e seus colmos são similares aos da cana (COLLARES, 2011).

Essa cultura possui ciclo curto, atingindo maturidade fisiológica e período de colheita em torno de 120 dias, com alta produtividade de massa vegetal e Brix de 16 a 21° (MASSON, 2013). Pode ser empregada como forragem ou como fonte para geração de açúcar e etanol e, segundo Magalhães et al. (2014) é uma boa opção para os agricultores, por apresentar uma alta produtividade de massa verde e etanol.

Trata-se de uma cultura apta ao cultivo em áreas tropicais, subtropicais e temperadas (DALVI et al., 2012). Apresenta ampla adaptabilidade e pode ser cultivada em diferentes classes de solos. O sorgo sacarino apresenta alta eficiência no que se refere ao uso de água e se adequa a vários solos (REDDY et al., 2013).

Soares (2013) relatou que o sorgo sacarino adapta-se às várias classes de solos, porém maiores produtividades são observadas em solos profundos, drenados, férteis, cujo pH varia de 5,5 a 6,5. O cultivo desta cultura em solos pouco profundos ou com baixa quantidade de matéria orgânica pode deixar as plantas mais vulneráveis à deficiência hídrica (CARVALHO et al., 2013). Apesar dessa cultura ser rústica, quando comparada a muitas outras, a disponibilidade hídrica adequada ao longo do seu ciclo é importante, para a produtividade de colmos e de etanol serem elevadas (DURÃES, 2014). Estima-se que o teor de água consumido pelo sorgo em seu ciclo varia de 380 mm a 600 mm (FERREIRA, 2015; PEREIRA FILHO e RODRIGUES, 2015). Essa cultura é responsiva às boas práticas agrícolas relacionadas ao manejo do solo e água (DURÃES, MAY; PARELLA, 2012).

2.2 Potencial produtivo de sorgo sacarino

Pesquisas destinadas ao desenvolvimento de variedades de sorgo sacarino no Brasil iniciaram-se em 1970 pela Embrapa. Nesta época o país não contava com materiais genéticos, sendo os mesmos importados dos Estados Unidos, África e Índia e na década de 80 foram lançadas as primeiras variedades; porém, as pesquisas após um certo tempo cessaram (KOLLING, 2012; PARRELLA, 2011). Neste contexto, a crescente demanda por fontes primárias destinadas à produção de biocombustíveis, aliada à vasta extensão territorial brasileira, impulsionou o Brasil a retomar as atividades de pesquisa com a cultura do sorgo sacarino.

Dentre as fontes renováveis destinadas à produção de etanol, a referida cultura tem-se destacado no cenário nacional brasileiro. O sorgo sacarino já é considerada como fonte para produção de etanol na Índia, China, Austrália e África do Sul. Na América é visto como candidata destinada a substituir o milho na produção de biocombustível (EMYGDIO, 2011). Sawargaonkar et al. (2013) reportam que o etanol proveniente de sorgo apresenta qualidade de combustão superior, com elevado teor de octano e baixa difusão de enxofre.

Essa cultura no Brasil não está sendo uma aposta para competir ou substituir a cana-de-açúcar, e sim, somar-se a esta, como uma opção viável e rentável (MIRANDA, 2012). Assim como a cana-de-açúcar, a qual é tradicionalmente utilizada para geração de etanol, o sorgo sacarino também se apresenta como opção do ponto de vista agrícola e industrial (PIVETTA, 2014; PARRELLA; SHAFFERT, 2012).

Segundo Durães (2011) e May et al. (2011), o ciclo do sorgo sacarino é curto, plantio e colheita mecanizável, elevadas produtividades de massa (60 a 80 t ha^{-1}), e de etanol (3.000 a 6.000 L ha^{-1}). Esse mesmo autor relatou que os valores de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) do sorgo sacarino são semelhantes aos encontrados na cultura da cana e o bagaço pode ser usado como fonte energética. O sorgo sacarino ainda tem produção de grãos ($2,5 \text{ t ha}^{-1}$), os quais, apresentam propriedades nutricionais similares aos do milho, podendo utilizado como fonte alimentícia para animais (DURÃES; MAY; PARELLA, 2012). Além disso, o sorgo sacarino possui elevados teores de açúcares fermentáveis em seu colmo, o que traz como benefício a obtenção de etanol em curto período de tempo empregando-se cultivares cujo ciclo variam de 100 a 120 dias, fato que não ocorre com a cultura da cana pois, esta apresenta ciclo que varia de 12 a 18 meses (FERNANDES, 2013; MAY et al., 2012).

Soares (2013) e May (2011) relataram que essa espécie pode ser semeada em locais de reforma de cana-de-açúcar. Já Durães (2011) cita que com o plantio deste sorgo na entressafra da cana, antecipa-se o processamento de 2 a 3 meses diminuindo deste modo, o período de inatividade das usinas. O cultivo do sorgo sacarino também pode ser integrado aos sistemas produtivos da soja ou milho, em sucessão a essas culturas na safrinha.

Borges et al. (2010) analisaram o caldo dos colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS506 e verificaram que pode-se produzir de 50 a 65 L de etanol a cada tonelada de colmos, com uma produtividade variando entre 4.544 L ha⁻¹ e 6.636 L ha⁻¹ de etanol. Já, Parrella et al. (2010) analisaram o desenvolvimento de diferentes materiais de sorgo sacarino e perceberam que a produção de etanol variou entre 40 e 70 litros por tonelada de massa fresca. Além do mais, Soares (2013) reportou que o custo para produzir etanol a partir de sorgo é menor quando comparado a outras culturas.

Parrella e Shaffert (2012) estudaram características e desempenho de 13 variedades de sorgo sacarino, e perceberam que a época de florescimento variou de 63 a 80 dias, a altura de plantas apresentou valores que oscilaram de 2,60 a 2,95 m; e a produtividade de massa total foi de 29,81 a 47,71 t ha⁻¹. Esses autores verificaram ainda que teores de sólidos solúveis variaram de 6,20 a 21,03 °Brix e que o florescimento das cultivares BRS 508, BRS 509 e BRS 511 em Minas Gerais variou de 88 a 92 dias.

Masson et al. (2015) trabalharam com a produção de etanol mediante a fermentação de caldo da variedade de sorgo sacarino CVSW80007 comparado à cultivar de cana RB966928, e notaram que a variedade de sorgo sacarino apresentou parâmetros tecnológicos adequados, mesmo estes sendo inferiores aos da cana.

Esses resultados sinalizaram que a produção de etanol, mediante sorgo sacarino, é uma importante fonte para complementar a cana-de-açúcar e otimizando o uso de implementos e de recursos humanos na agroindústria sucroalcooleira, aumentando deste modo, o funcionamento e a eficiência das usinas, mediante a de redução custos de produção (DURÃES; MAY; PARELLA, 2012).

2.3 Eficiência do uso de água pela cultura do sorgo sacarino

A água é o principal insumo responsável pelo crescimento e por alterações na produção das culturas, e já é considerada como o fator mais importante e limitante à

produtividade (SOUZA et al., 2009). Com a diminuição da disponibilidade de água aliada, a busca pelo aumento da eficiência do uso de água (EUA) na agricultura tem sido motivo de pesquisas.

O uso eficiente de água por uma cultura é a relação entre a produção pela quantidade de água adicionada, e seu conhecimento na agricultura irrigada é extremamente importante pois potencializa o uso da água nas culturas sem déficit e desperdícios (TOPAK et al., 2010). Para Topak et al. (2011), apesar da irrigação localizada ter sido projetada para funcionar com elevada regularidade de adição hídrica, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos para se estimar frequências necessárias visando elevar a produção maximizando a eficiência de água pelas culturas, a fim de se obter maior produção com reduzida quantidade de água aplicada.

Elevar a EUA é primordial para reduzir o desperdício dos recursos hídricos dos padrões atuais da agricultura irrigada. Para que o aumento da eficiência se torne viável é necessário que se procedam mudanças na aplicação de água para as culturas, na eficiência dos sistemas de irrigação, no manejo das culturas e da irrigação. A obtenção de maior eficiência dos sistemas de irrigação, por sua vez, envolve a eficiência de condução e de aplicação de água da adutora até a cultura (OLIVEIRA et al., 2011).

O sorgo sacarino apresenta elevada eficiência no uso da água em comparação a outras culturas da mesma família. O milho e o trigo precisam de 370 e 500 litros de água para produzir um quilo de massa seca, em quanto que o sorgo necessita apenas de 330 litros. De acordo com Prasad et al. (2007) e Reddy et al. (2013), o sorgo apresenta elevada eficiência no uso de água destinada ao acúmulo de massa, quando comparado às outras culturas como o milho, o que o torna promissor na produção de bioenergia, além do mais, se adapta bem a climas tropicais e semi-áridos. O uso mais eficiente de água por diversas culturas tem sido relatado com a utilização de irrigação localizada sob gotejo.

2.4 Irrigação por gotejamento

De acordo com Almeida (2012), a procura por técnicas que buscam a racionalização da água, assim como as que aumentam a produção e qualidade das culturas, é cada dia mais intensa. Esse autor citou que o objetivo principal da

agricultura irrigada é investir em tecnologia a fim de ampliar a produção de diferentes culturas visando a sustentabilidade, a partir da redução de custos.

O sistema de irrigação por gotejamento é um dos mais eficientes quanto à disponibilização de água no solo, contribuindo para aumentar a produtividade devido à maior eficiência de aplicação e redução de doenças (MAROUELLI et al., 2008). Souza et al. (2014) referiram também que a irrigação via gotejamento apresenta algumas vantagens em comparação aos outros sistemas como: aumento de eficiência do uso da água e produção, menor índice de doenças, conservação da umidade do solo em condições adequadas ao desenvolvimento das plantas, menor desenvolvimento de plantas daninhas nas entrelinhas, possibilidade de automação, além de reduzir o escoamento superficial e erosão. Bernardo et al. (2009) salientaram que com o gotejamento a água é aplicada próximo ao sistema radicular, com baixa intensidade e elevada frequência mediante turno de rega fixos visando manter a umidade no solo. Esteves et al. (2012) expuseram que a irrigação por gotejamento possibilita a redução no consumo de água nos sistemas agrícolas devido à sua aplicação localizar-se na região de concentração do sistema radicular reduzindo deste modo, as perdas por evaporação.

Souza et al. (2009), também citaram que o sistema de gotejamento é muito eficiente em relação aos demais. Ribeiro et al. (2010), referiram-se que o gotejamento é um dos sistemas mais apropriados para a agricultura irrigada e encontra-se em expansão. Além do mais, o mesmo possui algumas vantagens como a economia de água, tendo em vista que a água é aplicada próxima ao sistema radicular, pode ser automatizado e pode-se empregar a fertirrigação em áreas cultivadas. Mesmo que o gotejamento seja altamente eficiente, há necessidade de se efetuar o manejo da irrigação a fim de suprir as necessidades das plantas.

2.5 Manejo da Irrigação e Evapotranspiração

O rendimento, crescimento e a produtividade das culturas quando irrigadas são influenciados pelo volume de água e pelo manejo da irrigação (SAAD, 2009). O manejo da irrigação consiste no fornecimento de uma quantidade de água às plantas de uma determinada cultura no momento correto e de forma a proporcionar melhor desenvolvimento e produtividade, visando otimizar o uso deste recurso.

A estimativa da necessidade hídrica de uma dada cultura deve levar em consideração a demanda hídrica, a qual é representada pelo teor de água evapotranspirado (SOUZA et al., 2009). Segundo Bernardo et al. (2008), a evapotranspiração da cultura (ET_c) é obtida através da multiplicação da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente de cultivo (K_c). Sendo assim, para determinar a quantidade de água consumida por uma cultura torna-se importante conhecer a ET_o , e esta correlaciona dados climáticos de um local e também características morfológicas da cultura, representadas pelo seu K_c que é variável segundo o estágio fenológico. A partir destas variáveis determina-se a ET_c que quantifica a necessidade hídrica da planta a fim de auxiliar no manejo adequado. A obtenção da ET_c pode ser feita multiplicando-se a ET_o pelo K_c (ANDRADE et al., 2016).

Há vários métodos para se efetuar o manejo da irrigação, e os mais usados baseiam-se no solo e em parâmetros climatológicos, podendo também efetuar combinações entre os mesmos. No manejo de sistemas é fundamental calcular quando e quanto de água deverá ser fornecida. Segundo Tagliaferre et al. (2012), os métodos que vêm sendo frequentemente empregados para estimar a necessidade hídrica pelas culturas baseiam-se em dados climáticos, sendo necessário a obtenção de variáveis meteorológicas locais para estimativa da ET_o .

Dentre os métodos para se estimar a ET_o destaca-se o método do tanque Classe “A” como um dos mais empregados no Brasil, em função do manejo ser relativamente fácil e custo baixo (OLIVEIRA et al., 2008). Neste método, utiliza-se um tanque de evaporação preenchido com água, no qual efetuam-se medições, em milímetros, da água que evaporou entre leituras. A lâmina evaporada é multiplicada pelo coeficiente de tanque (K_t) para obtenção da ET_o (BERNARDO et al., 2008). Para calcular os valores de K_t utilizam-se informações de umidade do ar, velocidade do vento, comprimento da bordadura e tipo de superfície (gramada ou solo nu) que circunda o tanque Classe “A” (SOUSA et al., 2016).

Mantovani et al. (2009) salientam que com esse tanque é possível efetuar, de forma indireta, o monitoramento de variáveis ligadas ao sistema solo-planta-atmosfera que podem ser empregadas para quantificar a necessidade de água para as culturas, e estabelecer estratégias de manejo da irrigação. Lopes et al. (2012) comentaram que o emprego de tanque Classe A pelo agricultor para manejar a irrigação é uma boa

opção de utilização racional de água. Cunha et al. (2013) também referiram que método do tanque Classe A é utilizado para determinar a ETo pela facilidade de execução e possibilidade de instalação no campo nas proximidades da área cultivada, integrando variáveis meteorológicas e da cultura.

2.6 Irrigação sob características tecnológicas e produtivas destinadas à produção de etanol

A quantidade de água em solos é uma das variáveis que mais afetam a produção de etanol, e reduz significativamente o rendimento da lavoura. Além da disponibilidade de água, a produção de etanol também depende da variedade e manejo de irrigação e quantidade de adubação.

Moreira et al. (2012) analisaram as variedades de sorgo sacarino (BRS 501, BRS 506, Rio e Ramada) sob níveis hídricos de 20%, 40%, 60% e 80% em função da capacidade de campo. Esses autores verificaram que as cultivares apresentaram resposta linear positiva para estes níveis, com o incremento em estatura e diâmetro de plantas e em massa verde da parte aérea. Moreira (2011), ao avaliar o comportamento morfofisiológico de sorgo sacarino em estresse, verificou que a altura e diâmetro de colmo foram alterados de forma positiva pelo incremento hídrico via irrigação.

Oliveira et al. (2011) estudaram a produtividade, o uso eficiente de água e variáveis tecnológicas de variedades submetidas a regimes hídricos e notaram que o emprego da irrigação por gotejamento ocasionou maior produtividade de colmo e açúcar, bem como o uso mais eficiente da água, e menores quantidades de fibra, em comparação à ausência de irrigação. Moreira et al. (2012) concluíram que a produtividade de biomassa de sorgo sacarino foi afetada de forma positiva pelo aporte hídrico até a reposição de 80% da evapotranspiração.

Queiróz (2014) analisou o balanço energético de sorgo sacarino sob gotejamento e em sequeiro e concluiu que a irrigação propiciou aumento na produtividade e rendimento de álcool.

2.7 Propriedades físicas do solo e a água no solo

Propriedades físicas de solos influenciam a dinâmica da água, bem como o desenvolvimento vegetal (BUSKE, 2013). Cavalieri et al. (2011) reportaram que alterações físicas do solo e disponibilidade hídrica podem prejudicar o crescimento e desenvolvimento de determinada cultura.

Lima et al. (2006) afirmam que a água no solo afeta a produção de diferentes espécies vegetais e que o seu conhecimento é muito importante. Segundo os mesmos autores torna-se importante a caracterização e o conhecimento das propriedades físicas do solo, as quais podem interferir na dinâmica da água no sistema solo-planta e envolvem processos como infiltração, redistribuição, drenagem e absorção pelas plantas.

Segundo Belchior et al. (2016), o estudo das relações solo-água é essencial, tendo em vista que a água é considerada um dos insumos que limitam a produtividade das plantas o qual pode ser realizado pela retenção e condutividade de água, capacidade de campo. Ingaramo (2003) citou a porosidade e a densidade do solo como propriedades para avaliação da qualidade físico-hídrica.

Silva et al. (2005) estudaram os sistemas de uso do solo bem como o seu manejo em relação às propriedades físicas e observaram que solos cultivados com cana-de-açúcar sob irrigação foram os que apresentaram maior grau de dispersão de argila. Esses pesquisadores perceberam que a dispersão mais elevada contribuiu para alterar a distribuição de poros e diminuir a condutividade hidráulica saturada de camadas subsuperficiais.

Diante destes fatos, verificou-se que variações das propriedades físicas do solo podem alterar a distribuição da água aplicada pela irrigação. Sendo assim, conhecer essas propriedades pode auxiliar não só no dimensionamento de projetos, mas também no manejo da irrigação (SOUZA; MATSURA, 2004). Neste contexto, alterações que ocorrem em propriedades físicas podem afetar a retenção de água, pois exercem influência na capacidade de armazenamento (LIBARDI, 1999).

2.8 Lâminas de irrigação e a dinâmica dos nutrientes no solo

O crescimento, assim como o desenvolvimento de determinada cultura, é limitado pela capacidade de absorção de nutrientes por parte das mesmas que são disponibilizados no solo mediante fertilização (REICHARDT; TIMM, 2012). No entanto,

algumas espécies cultivadas podem utilizar menos da metade de adubo aplicado. Os nutrientes, uma vez solubilizados, podem ser lixiviados devido à precipitação ou até mesmo pela irrigação (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Borin (2014), as lâminas de água quando aplicadas no solo ocasionam alterações nos seus nutrientes pela modificação de suas características físicas, químicas, biológicas e eletroquímicas. Alguns elementos tornam-se mais solúveis quando reduzidos, como o manganês e o ferro, devido à adição de água. Em alguns sistemas de irrigação a lixiviação representa a principal perda de nutrientes, e pode ser mais intensa em lâminas elevadas contribuindo para a redução do desenvolvimento das culturas. Follegatti et al. (2003) citaram que o excesso de água via irrigação pode reduzir a produtividade e a qualidade das culturas em função da lixiviação de nutrientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

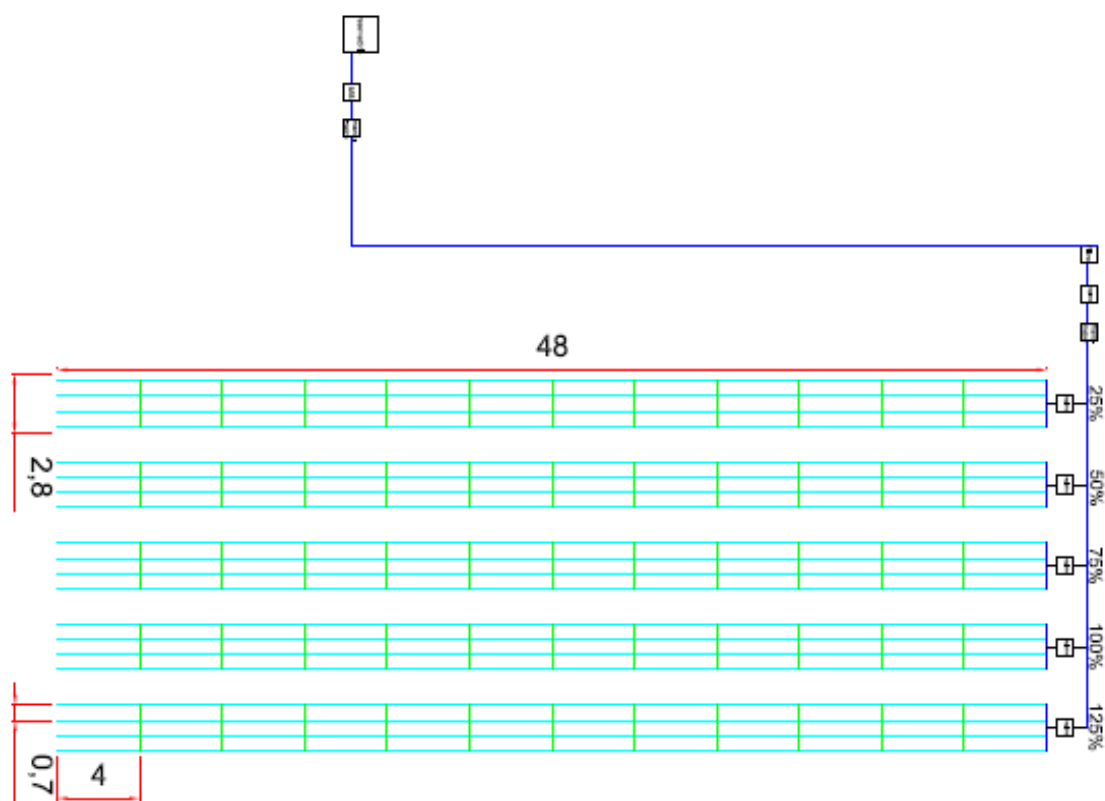
O ensaio foi conduzido nas condições de campo em área experimental da Universidade Estadual de Goiás, Câmpus de Santa Helena de Goiás (18°03'S, 050°35'W e 572 m de altitude), em um Latossolo Vermelho Distrófico textura argilosa (EMBRAPA, 2013). O clima local é tropical temperado conforme a classificação de Köppen, no qual as estações seca e chuvosa são distintas. A média térmica da região é de 23 °C e as máximas podem atingir 39 °C. As temperaturas mínimas são registradas de maio a junho e o índice pluviométrico médio da região é de 1.300 mm anuais.

3.2 Delineamento experimental, caracterização dos tratamentos e variedades

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados sob esquema fatorial 5x3, com 5 tratamentos, 3 cultivares de sorgo sacarino e 4 repetições, totalizando 60 parcelas experimentais. Os tratamentos foram constituídos por 5 lâminas de irrigação: 25, 50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração de cultura (ETc) e as variedades avaliadas foram: BRS 511, Silotec 20, e CVSW 80007.

As parcelas foram constituídas por 4 linhas contendo 4 metros (m) de comprimento e com espaçamento de 0,70 m, e as duas linhas centrais, foram consideradas como úteis para as avaliações, destacando-se 1 m de cada extremidade. Portanto, as dimensões de cada parcela foram de 4,0 m x 2,80 m, o que correspondeu a área de 11,2 m². Cada bloco foi composto por 12 parcelas experimentais adotando-se 1,0 m de espaçamento entre os blocos para o corredor. Sendo assim, o experimento constou de uma área total de 864 m² (48 x 18m), conforme Figura 1.

Figura 1-Representação esquemática do experimento no campo



3.2.1 Características das variedades

As variedades empregadas no experimento foram escolhidas mediante a recomendação de semeadura para alguns estados brasileiros e dentre eles o estado de Goiás. As características das mesmas encontram-se descritas logo a baixo.

BRS 511: possui elevada produtividade, podendo chegar até 80 t ha^{-1} , elevado teor de açúcares fermentáveis (18 a 22 °Brix), com ótimo padrão de fermentação. A altura é de 3,0 metros, o florescimento varia de 61 a 74 dias pós semeadura e a densidade populacional pode ser de 120.000 a 130.000 plantas ha^{-1} . Apresenta as características principais destinadas à produção de etanol e foi lançada em 2012.

Silotec 20: cultivar com dupla aptidão (etanol e silagem), com tolerância alta a solos ácidos. Apresenta as seguintes produtividades devido à época de semeadura: verão até 80 t ha^{-1} de massa verde total e até 4.000 L ha^{-1} de etanol; safrinha até 60 t ha^{-1} de silagem e até 3.000 L ha^{-1} de etanol. A produtividade de grãos pode chegar a $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ e a população de plantas recomendada é de 120.000 a 180.000 plantas ha^{-1} .

¹. A altura pode variar de 2 a 3,5 metros e o florescimento ocorre aos 95 dias pós semeadura, com 18° Brix em média.

CVSW 80007: adapta-se a diferentes épocas de produção. Pode ser empregada na entressafra da cana como fonte complementar. Adapta-se a ambientes diversos, podendo ser colhida a partir de 100 dias pós semeadura. Ciclo de 100 a 130 dias, °Brix superior a 14, produtividade de 60 a 80 t ha⁻¹ (CANAVIALIS, 2015).

3.3 Preparo da área e tratos culturais

Foram retiradas amostras de solo nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m para caracterização química e física da área antes da implantação do experimento. As amostras de solo foram analisadas no Laboratório Solocria Agropecuário em Goiânia-GO e os resultados encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Resultados da análise física do solo da área experimental

Camada (m)	Granulometria (g kg ⁻¹)			Ds (kg dm ⁻³)	Dp (kg dm ⁻³)	Pt (%)
	Areia	Silte	Argila			
0-0,20	530	100	370	1,23	2,63	53,18
0,20-0,40	-	-	-	1,35	2,40	43,50

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Pt: porosidade total do solo. Metodologias propostas pela Embrapa (1997).

Tabela 2 - Resultados da análise química do solo da área experimental

Sigla	Descrição	Unidade	Camada (m)	
			0-0,20	0,20-0,40
pH	Em CaCl ₂	-	5,30	4,00
P	Fósforo Mehlich	mg dm ⁻³	7,60	3,00
K	Potássio	mg dm ⁻³	43,00	37,00
S	Enxofre	mg dm ⁻³	3,40	3,40
Ca ²⁺	Cálcio	cmol _c dm ⁻³	3,30	1,70
Mg ²⁺	Magnésio	cmol _c dm ⁻³	1,10	0,50
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Cálcio+Magnésio	cmol _c dm ⁻³	4,40	2,20
Al ³⁺	Acidez trocável	cmol _c dm ⁻³	0,00	0,10
H + Al	Acidez potencial	cmol _c dm ⁻³	3,40	3,70
SB	Soma de bases	cmol _c dm ⁻³	4,51	2,29
T	CTC a pH 7	cmol _c dm ⁻³	7,91	5,99
V	Saturação por bases	%	57,02	38,23
MO	Matéria orgânica	g dm ⁻³	33,00	23,00
Zn	Zinco disponível	mg dm ⁻³	0,50	0,20
Fe	Ferro disponível	mg dm ⁻³	34,60	28,70
Mn	Manganês	mg dm ⁻³	29,80	21,50
Cu	Cobre	mg dm ⁻³	2,60	2,20
B	Boro	mg dm ⁻³	0,33	0,37

No preparo do solo efetuou-se uma aração seguida de duas gradagens. A calagem foi calculada pelo método de saturação por bases e realizada 60 dias antes da semeadura, tendo-se aplicado $1,027 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário filler, o que equivale a 76 kg para a área do experimento, para corrigir da acidez e elevar a saturação por base (V) para 70%, conforme recomendação para a cultura.

A semeadura foi feita no dia 3 de junho de 2016, com 10 sementes por metro linear à profundidade de 3 cm. Efetuou-se o desbaste 10 dias depois da emergência visando deixar 9 plantas por metro linear e uma população de 129.000 plantas por hectare.

As adubações de plantio bem como de cobertura foram calculadas baseando-se na análise de solo e aplicadas conforme a Recomendação de Adubação para o Estado de Goiás (CFSG, 1988). Para o fornecimento de nitrogênio (N), utilizou-se de 60 kg de N ha^{-1} ($133,33 \text{ Kg ha}^{-1}$ de ureia), aplicando-se 20 kg de N na semeadura ($45,45 \text{ kg ha}^{-1}$ de ureia) e 40 kg de N ($90,91 \text{ Kg ha}^{-1}$ de ureia) em cobertura após 35 dias da emergência. Para fornecimento de fósforo (P) empregou-se 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 que corresponde a $333,33 \text{ kg ha}^{-1}$ superfosfato simples. Com relação ao potássio (K), adicionou-se 60 kg ha^{-1} de K_2O , o que equivale a 100 kg ha^{-1} de cloreto de potássio.

Efetuou-se capina manual para controlar plantas daninhas. Já no controle de insetos, como a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), utilizou-se o inseticida Premio® (Chlorantraniliprole) na dose de 150 mL ha^{-1} que foi aplicado em jato dirigido no cartucho das plantas aos 22 dias pós semeadura. No controle da lagarta elasmô (*Elasmopalpus lignosellus*) utilizou-se o inseticida Lorsban 480 BR® (Clorpirifós), com dosagem de 1,0 L ha^{-1} com 2 aplicações (aos 25 e 32 dias pós semeadura), também aplicado em jato dirigido na base das plantas.

3.4 Sistema empregado e manejo da irrigação

O sistema de irrigação foi montado no campo logo após o preparo e correção da acidez do solo, para eliminar quaisquer riscos de déficit hídrico às plantas de sorgo sacarino. As lâminas foram aplicadas através do sistema de irrigação localizada, via gotejamento, com emissores do tipo autocompensantes *in line* espaçados entre si de 0,20 m e 0,70 m entre linhas. A vazão nominal dos emissores foi de 1,5 L h^{-1} (litros por hora), submetida a carga hidráulica de 10 mca (metros de coluna de água). As fitas gotejadoras possuíam 16 milímetros (mm) de diâmetro e espessura de 200

microns. Monitorou-se a pressão de serviço do sistema mediante a utilização de manômetros instalados na tubulação da linha principal e nas linhas laterais.

No manejo da irrigação usou-se um tanque Classe A, instalado na área do experimento, para realizar leituras da evaporação diariamente. Para a obtenção da evapotranspiração de referência a lâmina que evaporou foi multiplicada por coeficiente (K_t) conforme a Equação 1. Os valores de K_t foram obtidos a partir: da área ser circundada por grama, posição do tanque (R) em metros, velocidade do vento ($m\ s^{-1}$ ou $Km\ h^{-1}$) e da umidade relativa do ar ($UR\ \%$).

$$ET_o = ECA * K_t \quad (1)$$

Em que: ET_o = evapotranspiração de referência ($mm\ d^{-1}$), ECA = evaporação em tanque Classe A ($mm\ d^{-1}$), K_t = coeficiente de correção do tanque, (adimensional).

A ET_c foi obtida pelo método padrão FAO (Equação 2).

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (2)$$

Em que: ET_c = evapotranspiração da cultura ($mm\ d^{-1}$), ET_o = evapotranspiração de referência ($mm\ d^{-1}$), K_c = coeficiente da cultura, (adimensional).

Os valores de K_c para o sorgo sacarino utilizados foram: 0,4 fase inicial que compreendeu a semeadura até 21 dias após a emergência (DAE); desenvolvimento da cultura: 0,75 de 21 a 30 DAE; 1,15 de 31 DAE a 19 dias após o florescimento (DAF). No final do ciclo foram empregados os seguintes valores de K_c : 0,8 de 20 a 30 DAF e 0,55 até a colheita.

Para a determinação da uniformidade do sistema foram aferidas as vazões dos gotejadores com emprego de cronômetro, coletores e proveta. Para isto, seguiu-se a metodologia desenvolvida por Keller e Karmeli (1975), com 16 pontos. Em cada bloco fez-se este teste avaliando-se as 4 linhas laterais, e em cada linha foram avaliados 4 emissores, sendo o 1º, o segundo a 1/3 do início, o terceiro a 2/3 do início e o quarto equivalente ao último gotejador. A vazão dos emissores foi determinada a partir da Equação 3.

$$Q = \frac{V \div 1000}{T \div 60} \quad (3)$$

Em que: Q = vazão (L h⁻¹), V = volume coletado (mL), T = tempo de coleta em (min.)

Com os dados das vazões foram calculados índices de uniformidades: coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade Christiansen (1942) (CUC) e a eficiência de aplicação (EA). O CUD foi calculado através da Equação 4.

$$CUD = \frac{q_{25\%}}{q_a} * 100 \quad (4)$$

Em que: CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição (%), q_{25%} = média dos 25% menores valores de vazão observados (L h⁻¹), q_a = média de todos os valores de vazão observados (L h⁻¹).

O CUC foi calculado aplicando-se a Equação 5.

$$CUC = 100 * \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^a |q_i - q_a|\right)}{n * q_a} \quad (5)$$

Em que: CUC= coeficiente de uniformidade de Christiansen (%), q_i= vazão de cada emissor (L h⁻¹), q_a= vazão média dos emissores (L h⁻¹), n= número de emissores.

A eficiência de aplicação foi determinada mediante a Equação 6:

$$EA = K_s * CUD \quad (6)$$

Em que: EA= eficiência de aplicação, K_s= coeficiente de transmissividade, utilizou-se o valor de 0,9 (90%), CUD= coeficiente de uniformidade de distribuição (%).

Os valores médios de CUC, CUD e EA estão na Tabela 3. Conforme os valores encontrados, o sistema encontra-se em excelente estado de adição da água.

Tabela 3- Valores de CUC, CUD e EA, para o experimento e a classificação dos mesmos

Sistema	CUC (%)	CUD (%)	EA (%)	Classificação
Gotejamento	93,78	96,38	86,76	Excelente

Os valores de CUD foram interpretados conforme a metodologia de Merriam e Keller (1978). Obteve-se no experimento o valor médio de 96,38% do CUD e, portanto, o sistema encontrava-se em excelente estado.

O turno de rega foi fixo (1 dia), adicionando-se a lâmina segundo a ETc, conforme os tratamentos propostos. A lâmina total de irrigação necessária (LTN) a ser aplicada foi determinada pela Equação 7. Com esta equação encontrou a lâmina equivalente 100 da ETc e as demais foram determinadas efetuando as proporções conforme os tratamentos.

$$LTN = \frac{ETc \cdot TR}{Ea} \quad (7)$$

Em que: LTN = lâmina total necessária por irrigação (mm), ETc = evapotranspiração da cultura (mm d⁻¹), Ea = eficiência de aplicação, adimensional, TR= Turno de rega (dias).

Pela Equação 8 calculou-se o tempo de irrigação (Ti), de acordo com cada lâmina, nos respectivos tratamentos.

$$Ti = \frac{Li \cdot Ei \cdot Eg}{q} \quad (8)$$

Em que: Ti = tempo de irrigação (h), Li = lâmina de irrigação (mm), Ei = espaçamento entre linhas laterais (m), Eg= espaçamento entre gotejadores (m), q = vazão do gotejador (L h⁻¹).

Em cada tratamento efetuou-se o controle do Ti e da lâmina de água. As variedades de sorgo foram irrigadas fornecendo 100% da evapotranspiração de cultura (ETc) até 14 dias pós semeadura, com a finalidade de fornecer água em quantidade suficiente, promovendo, assim, condições ideais de germinação e início de desenvolvimento vegetativo. Logo após esse período as variedades foram submetidas aos respectivos tratamentos (lâminas).

3.5 Características avaliadas

3.5.1 Características agronômicas e tecnológicas das variedades de sorgo sacarino

A colheita do experimento ocorreu aos 120 dias transcorridos da semeadura e as características avaliadas foram:

- Altura de plantas: foram medidas com uma trena graduada em metros (m), desde o nível do solo até a emissão da panícula de todas plantas presentes na área útil;
- Diâmetro de colmo: foi obtida a circunferência em milímetros, na altura média do colmo das plantas, com paquímetro digital.
- Número de folhas e internódios: contou-se o número de folhas e internódios das plantas presentes na área útil.
- Florescimento: contou-se o número de dias transcorridos desde a data da semeadura até o momento em que 50% das plantas úteis emitiram suas estruturas florais.
- Massa verde da parte aérea: pesou-se as plantas colhidas na área útil com conversão dos dados em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$), considerando-se uma população de 129.000 plantas por hectare.
- Produtividade de colmos: determinou-se pelo método alternativo, segundo Gheller (1999), que consiste em pesar todo material colhido em cada parcela retirando-se as folhas, com conversão dos valores para toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$) considerando-se a população de 129.000 plantas por hectare.
- Porcentagem de folhas: foi determinada subtraindo da massa verde a produtividade de colmos, seguida pela conversão à porcentagem (%).
- Sólidos solúveis totais do caldo (°Brix): um refratômetro foi usado para obtenção do °Brix do caldo extraído das plantas da área útil das parcelas.

- Rendimento de caldo: todos colmos de cada área útil das parcelas foram processados por uma moenda elétrica de aço inoxidável, sendo que o volume do caldo foi quantificado com uso de uma proveta, convertendo-se os valores para litros por hectare ($L\ ha^{-1}$).

- Produção de etanol: foi determinada pelo método proposto por Weschenfelder (2011).

- Peso do bagaço úmido (PBU): a parte fibrosa resultante da extração via prensagem foi pesada para obtenção do peso do bagaço úmido, e convertido em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$).

- Teor de fibra industrial (F): calculou-se a partir do PUB por meio da Equação 9, sendo os resultados expressos em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$):

$$F = (0,08 \times PBU) + 0,876 \quad (9)$$

Em que: F= teor de fibra industrial, PBU= peso do bagaço úmido.

A determinação dos parâmetros de qualidade industrial seguiu a metodologia descrita pelo CONSECANA (CONSECANA, 2006).

3.5.2 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso de água (EUA) foi calculada mediante a relação da produtividade de massa verde em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$) pela quantidade de água aplicada em milímetros (mm) em cada tratamento, durante o ciclo da cultura. Os resultados foram escritos em $t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$.

3.5.3 Análise química do solo

Coletou-se amostras deformadas e amostras compostas do solo em linhas de plantio da área útil das parcelas experimentais. As mesmas foram retiradas nas camadas de 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20- 0,40 m no momento da colheita para determinação das análises: pH, M.O., H+Al, Al, Ca, Mg, K, P, SB, CTC, V% e teor de carbono orgânico total para estimar o estoque de carbono no solo. As análises

químicas foram executadas pelo Laboratório Solocria em Goiânia-GO, conforme metodologia proposta por Raij et al. (2001).

3.5.4 Análise física do solo

Para avaliações físicas foram coletadas amostras deformadas bem como indeformadas nas linhas úteis das parcelas nas camadas de 0-0,10 m; 0-0,20 m e 0,20- 0,40 m por ocasião da colheita. Foram efetuadas as análises: argila dispersa em água, grau de floculação, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total (macro + microporosidade), capacidade de campo, condutividade hidráulica do solo. Parte das análises físicas foram executadas pelo Laboratório de Física do Solo da Universidade Estadual de Goiás e parte no Laboratório Solocria, segundo metodologia da Embrapa (1997).

3.6 Análise estatística

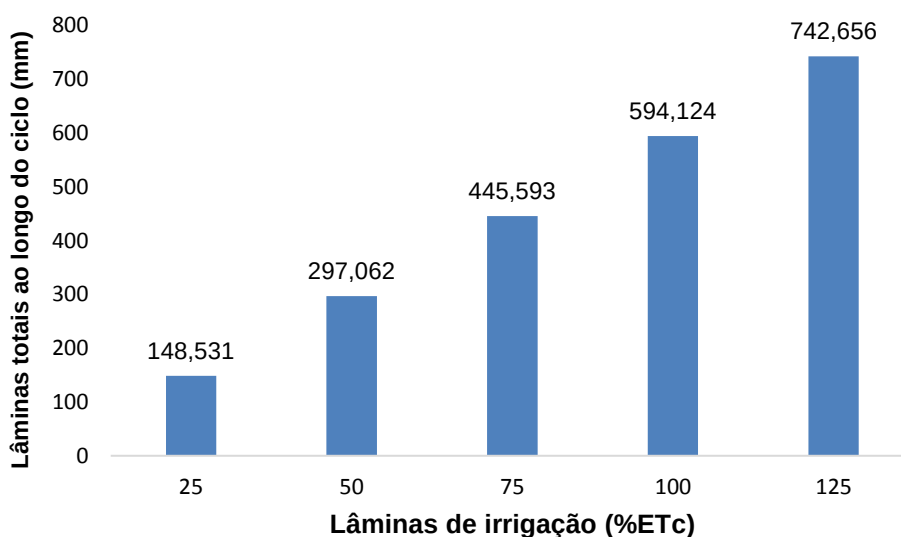
Os resultados passaram pela análise de variância pelo teste F a 5% de significância. O teste de Tukey foi empregado para comparar as médias dos fatores variedades e propriedades do solo. Para o fator lâminas de irrigação efetuou-se a análise de regressão. O programa empregado foi o SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Lâminas aplicadas ao longo do ciclo do sorgo sacarino

Na Figura 2 encontram-se as lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos de acordo com a porcentagem de evapotranspiração de cultura (ETc). As lâminas foram calculadas diariamente e ao final do ciclo efetuou-se a somatória.

Figura 2 – Lâminas de irrigação aplicadas durante o ciclo do sorgo sacarino em função dos tratamentos



Notou-se pela Figura 2 que as lâminas totais aplicadas durante o ciclo do sorgo sacarino foram 148,531 mm (25% da ETc); 297,062 mm (50% da ETc); 445,593 mm (75% da ETc); 594,124 mm (100% da ETc) e 742,656 mm (125% da ETc).

4.2 Análise de variância das características agronômicas e tecnológicas das variedades de sorgo sacarino

As características tecnológicas e agronômicas (Tabelas 4, 5 e 6) mostraram baixa e média variabilidade uma vez que os coeficientes de variação apresentaram variação baixa (inferior a 10%) e média (entre 10 e 20%) conforme Pimentel Gomes (1985). Notou-se pela Tabela 4 que apenas as características número de internódios (NI) e número de folhas (NF) não foram influenciadas pelas lâminas de irrigação.

Comparando-se as variedades de sorgo sacarino verificou-se que as características massa verde da parte aérea (MVPA), porcentagem de folhas (PF), produção de etanol (PE), peso do bagaço úmido (PBU), teor de fibra industrial (TFI), e eficiência do uso de água (EUA) não variaram significativamente. Analisando a interação lâminas de irrigação e variedades, notou-se que as características as quais responderam de forma significativa a 1% foram altura de plantas (AP), florescimento (Flor), sólidos solúveis totais (SST) e rendimento de caldo (RC); e a 5% de significância a massa verde da parte aérea (MVPA) e produção de etanol (PE), enquanto que as demais características não apresentaram variação significativa.

Tabela 4 - Análise de variância das variedades de sorgo sacarino para as seguintes características: altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), número de folhas (NF), número de internódios (NI) e florescimento (Flor)

FV	GL	Quadrados Médios				
		AP (m)	DC (mm)	NF (nº)	NI (nº)	Flor (dias)
Lâminas	4	1,58*	7,29*	1,28 ^{ns}	0,88 ^{ns}	11,07*
Variedades	2	0,13*	11,33*	47,09*	47,18*	1177,80*
Lâm x Var	8	0,08*	1,02 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,35 ^{ns}	8,47*
Bloco	4	0,06	0,40	0,68	0,302	1,00
Resíduo	42	0,02	0,76	0,49	0,459	2,05
Total	59	-	-	-	-	-
CV (%)	-	6,34	6,22	6,81	6,61	1,50

GL- graus de liberdade. * e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} -não significativo. CV- Coeficiente de variação.

Tabela 5 - Análise de variância dos dados de variedades de sorgo sacarino, para as características massa verde da parte aérea (MVPA), produtividade de colmos (PC), porcentagem de folhas (PF), sólidos solúveis totais do caldo (SST), rendimento de caldo (RC)

FV	GL	Quadrados Médios				
		MVPA (t ha ⁻¹)	PC (t ha ⁻¹)	PF (%)	SST (°Brix)	RC (L ha ⁻¹)
Lâminas	4	1398,31*	1173,47*	39,50**	12,40*	176440521,00*
Variedades	2	171,20 ^{ns}	244,25*	23,78 ^{ns}	64,85*	42792891,39*
Lam. x Var	8	141,73**	86,557 ^{ns}	16,18 ^{ns}	2,46*	6312714,90*
Bloco	4	37,49	12,69	10,58	0,37	2818229,80
Resíduo	42	57,49	40,24	10,76	1,09	2232351,05
Total	59	-	-	-	-	-
CV (%)	-	13,64	14,88	18,69	6,17	17,51

GL- graus de liberdade. * e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} -não significativo. CV- Coeficiente de variação.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância das variedades de sorgo sacarino, para as características produção de etanol (PE), peso do bagaço úmido (PBU), teor de fibra industrial (TFI) e eficiência do uso de água (EUA)

FV	GL	Quadrados Médios			
		PE (L ha ⁻¹)	PBU (t ha ⁻¹)	TFI (t ha ⁻¹)	EUA (t ha ⁻¹)
Lâminas	4	2585481,41*	135,30*	0,87*	0,0633*
Variedades	2	316343,69 ^{ns}	16,74 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,0007 ^{ns}
Lam. x Var.	8	261968,73**	17,62 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,0009 ^{ns}
Bloco	4	69368,34	23,48	0,15	0,0004
Resíduo	42	196313,51	11,13	0,07	0,0008
Total	59	-	-	-	-
CV (%)	-	13,64	19,82	13,06	18,16

GL- graus de liberdade. * e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} -não significativo. CV- Coeficiente de variação.

4.3 Características tecnológicas e agronômicas

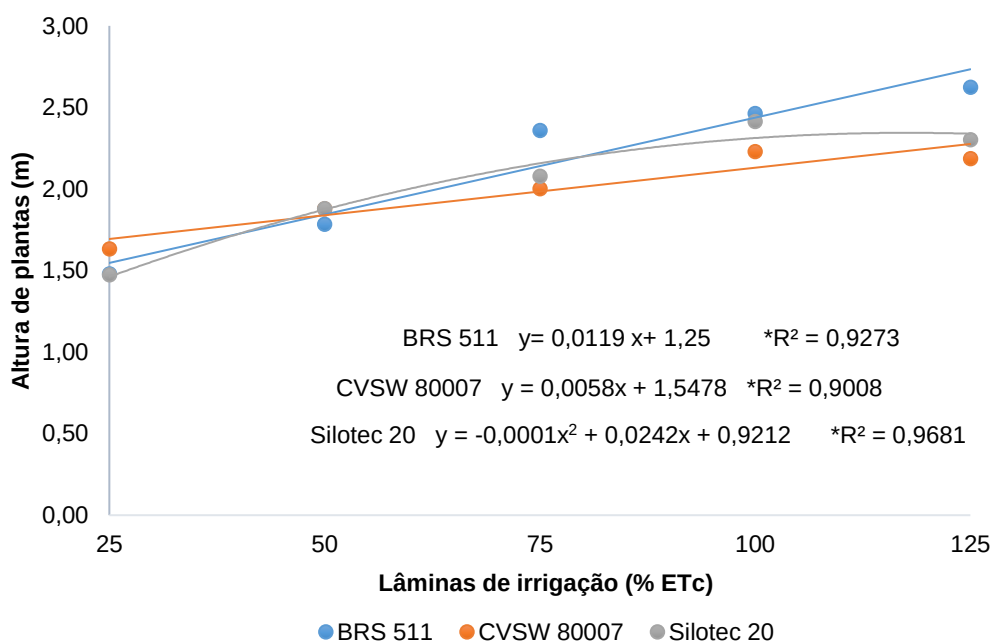
4.3.1 Altura de plantas

A análise da Figura 3 permitiu verificar que as cultivares BRS 511 e CVSW 80007 apresentaram resposta linear a 1% de probabilidade para o fator lâminas. Zwirtes et al. (2015), também notaram resposta linear para essa mesma característica, à medida que houve aumento de 25% para 100% de reposição de água evapotranspirada pela cultura. Notou-se, para a variedade BRS511, que para a adição de uma unidade em mm na lâmina aplicada, ocorreu um incremento de 0,0119 metros (m) na altura das plantas. Assim sendo, a maior altura ocorreu com a lâmina de 742,65 mm (125% da ETc) o que resultou em plantas com altura média de 2,622 m. Moreira et al. (2014) estudaram níveis de tensões de água em solo em 4 genótipos de sorgo sacarino dentre eles BRS511 e notaram incrementos na altura das plantas com o aumento na lâmina adicionada ao solo.

A variedade CVWS80007 apresentou comportamento similar, sendo que, 90,08% da variação na altura média de plantas sob lâminas testadas, foram explicadas através da regressão linear. Notou-se um incremento crescente da lâmina de 25% para 125% da quantidade de água repostada de evapotranspiração da cultura (ETc), neste caso, a menor e a maior altura de plantas foram 1,63 m e 2,185 m, respectivamente. Estes resultados são menores do que os valores encontrados por Bolonhezi et al. (2013), que avaliaram a mesma variedade de sorgo sacarino em Ribeirão Preto e encontram

plantas com altura média de 3,62 m. Já a variedade Silotec 20 (Figura 3) apresentou resposta quadrática com coeficiente de determinação (R^2) de 96,81%. A máxima altura de plantas foi 2,49 m na lâmina equivalente a 121% da reposição da ETc. Albuquerque et al. (2013) analisaram o desenvolvimento de genótipos de sorgo em Minas Gerais e verificaram que a variedade Silotec 20 obteve altura média de 2,57m.

Figura 3 – Altura de plantas das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)



Comparando-se as variedades de sorgo sacarino, em cada lâmina aplicada, notou-se que as lâminas 25% e 50% de reposição da ETc não diferiram significativamente (Tabela 7). Verificou-se, pela mesma Tabela, que a variedade BRS 511 apresentou maior altura de plantas nas lâminas 75%, 100% e 125% de reposição da ETc, sendo, respectivamente, 2,358 m, 2,462 m e 2,622 m. Observou-se que com aumento do aporte hídrico no solo há um maior crescimento das plantas e que os valores desta característica foram inferiores ao especificado para cada variedade. Isto ocorreu devido à época em que se efetuou a semeadura (outono), seguida pelo desenvolvimento no inverno. Nesta época do ano (outono/inverno) o fotoperíodo é menor que 12 horas e isto promove redução no porte de plantas de sorgo sacarino (MAY et al., 2013). Bolonhezi et al. (2013) analisaram as variedades Silotec 20 e

CVSW80007 e, notaram que a altura de plantas foi 3,72 m e 3,61 m, respectivamente, quando semeados em outubro.

Tabela 7- Altura de plantas (m) das variedades de sorgo sacarino em função das lâminas de irrigação

Variedades	Lâminas				
	25	50	75	100	125
BRS 511	1,48 a	1,78 a	2,36 a	2,46 a	2,62 a
CVSW80007	1,63 a	1,88 a	2,00 b	2,23 b	2,19 b
Silotec 20	1,47 a	1,80 a	2,08 b	2,41 ab	2,30 b
DMS	0,22				

DMS- diferença mínima significativa. Médias com mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

Comparando-se as variedades de sorgo sacarino, independentemente das lâminas aplicadas (Tabela 8), verificou-se que a variedade BRS 511 apresentou a maior altura, enquanto que as demais não apresentaram diferença para esta característica.

Tabela 8- Altura de plantas de sorgo sacarino em função das variedades

	Variedades		
	BRS 511	CVSW 80007	Silotec 20
Altura de Plantas (m)	2,14 a	1,98 b	2,03 b
DMS	0,10		

DMS- diferença mínima significativa. Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.3.2 Diâmetro de colmo

Na Figura 4 são apresentadas as equações para o diâmetro de colmo. Quanto a essa característica, nota-se, que todas as variedades avaliadas responderam linearmente ao nível de 1% de significância para as lâminas empregadas e às condições edafoclimáticas em que a pesquisa foi conduzida.

Os maiores diâmetros médios de colmos de sorgo sacarino encontrados para as variedades BRS511 (15,29 mm), CVSW 80007 (14,39 mm) e Silotec 20 (14,80 mm) ocorreram para a lâmina 125% da ET_c, a qual correspondeu a uma lâmina total de 742,66 mm ao longo do ciclo. Os menores valores obtidos na lâmina de 25% da ET_c,

que resultou numa reposição total de 148,53 mm de água, foram, respectivamente, 13,88 mm para BRS511, 12,17 mm para CVSW 80007 e 13,03 mm para Silotec 20.

O diâmetro de colmo é uma característica agrônômica importante, pois quanto maior o seu valor maior será a capacidade de acumular açúcares e, sendo assim, mais suculentos poderão se tornar os colmos, resultando em maior quantidade de caldo, mediante suprimento hídrico adequado. Moreira et al. (2011) também notaram que parâmetros biométricos foram influenciados pelo aporte de água no solo. Além do mais, conforme relataram Bandeira et al. (2016), o diâmetro de colmo e a altura de plantas são as características associadas ao rendimento e exercem influência na produtividade. Comparando-se o diâmetro dos colmos levando em consideração o fator variedades (Tabela 9), verificou-se que a variedade BRS 511 obteve maior diâmetro em relação às demais variedades.

Figura 4 – Diâmetro de colmos das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)

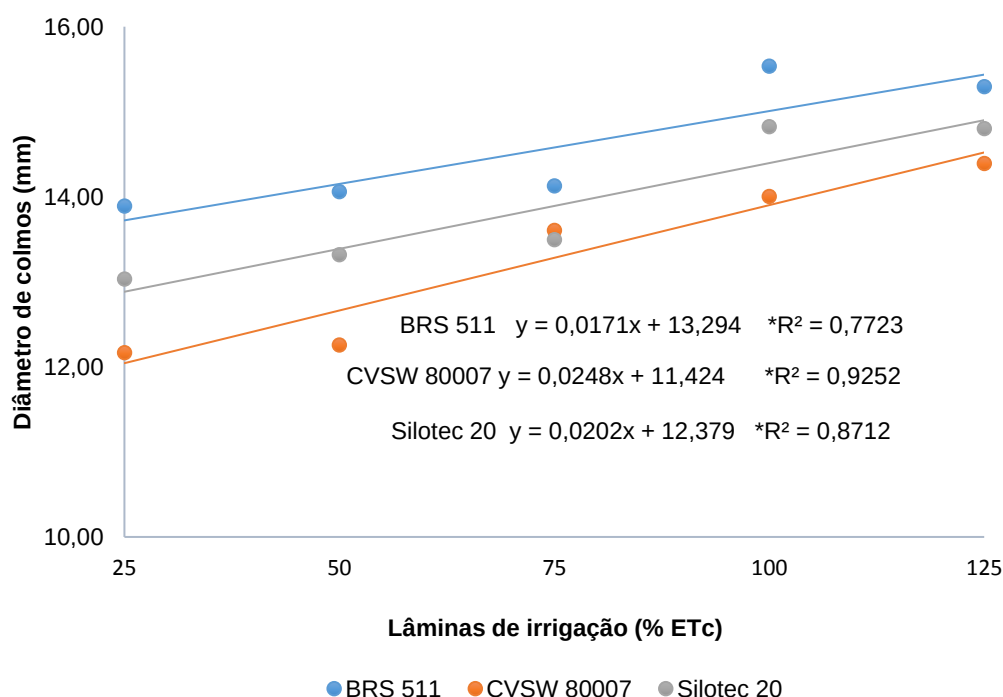


Tabela 9- Diâmetro de colmo das plantas de sorgo sacarino em função das variedades

	Variedades		
	BRS 511	CVSW 80007	Silotec 20
Diâmetro de colmo (mm)	14,78 a	13,28 b	13,89 b
DMS	0,67		

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.3.3 Número de folhas e número de internódios

São apresentados na Tabela 10 os valores médios do número de folhas e internódios independente das lâminas aplicadas. Notou-se, que ocorreu variação significativa ($p < 0,01$) entre as variedades.

O número de folhas, conforme citam Bilhalva et al. (2016), é um parâmetro importante uma vez que o desenvolvimento e a produtividade de dada cultura são promovidos pela fotossíntese. Em geral, o número de folhas, e a área foliar são proporcionais à taxa fotossintética efetuada pela planta.

Verificou-se que a variedade BRS 511 apresentou maior número de folhas acumuladas ao longo do ciclo, enquanto que a variedade CVSW 80007 o menor. Gonçalves et al. (2016), em seu trabalho com sorgo sacarino BRS 511 sob doses de nitrogênio, também encontraram número de folhas semelhante ao do presente trabalho, ou seja aproximadamente 12 folhas.

Tabela 10- Número de folhas e internódios das plantas de sorgo sacarino em função das variedades

	Variedades		
	BRS 511	CVSW 80007	Silotec 20
Número de folhas e internódios	11,94 a	8,90 c	10,0 b
DMS	0,52		

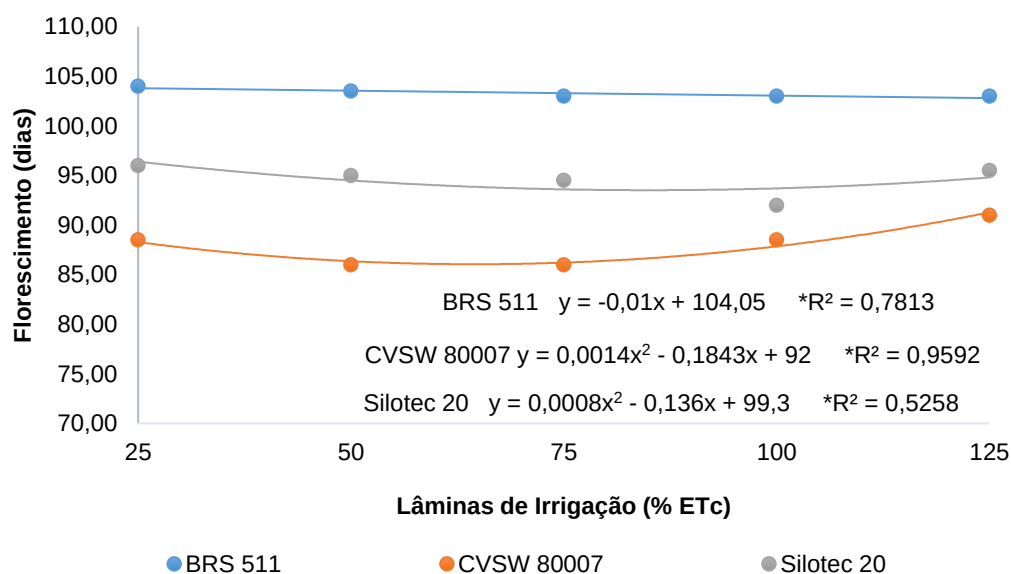
DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.3.4 Florescimento

A resposta quanto ao florescimento das variedades encontra-se na Figura 5. Verificou-se que a variedade BRS 511 respondeu linearmente a 1% de significância (R^2 de 78,13%). Já para a variedade CVSW 80007 a equação ajustada foi a quadrática

($p < 0,01$), com o mínimo florescimento de 86 dias para a lâmina máxima de 66% da reposição da ETc. Comportamento similar foi observado na variedade Silotec 20, em que a equação quadrática foi a melhor resposta ($p < 0,01$). Para esta variedade o florescimento mínimo ocorreu aos 93,52 dias com lâmina de 85% de reposição da ETc.

Figura 5 – Florescimento das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)



Verificou-se através das Tabelas 11 e 12 que as variedades analisadas floresceram tardiamente. Este fato ocorreu porque o florescimento é afetado pelo fotoperíodo e temperatura do ar (MARTINS, 2014; KUNZ, 2014). No período em que se conduziu o experimento (outono/inverno) o fotoperíodo foi menor que 12 horas e as temperaturas do ar baixas, principalmente na madrugada, o que contribuiu para retardar a floração, prolongando, deste modo, o ciclo vegetativo das variedades de sorgo sacarino. Analisando-se o florescimento, notou-se, que a variedade BRS 511 foi a que demorou mais tempo para florescer, em torno de 103 a 104 dias pós semeadura, seguida pela Silotec 20 em todas lâminas estudadas (Tabela 11). Os dados do presente experimento condizem com os obtidos por Damasceno et al. (2010), que avaliaram genótipos de sorgo sacarino e perceberam que os mesmos floresceram entre 59 a 104 dias transcorridos da semeadura.

Parrella et al. (2011) estudaram o florescimento da variedade BRS 511 semeada nos meses de outubro/novembro e encontraram valores que variaram de 70 a 75 dias pós semeadura. No outono, Souza et al. (2011) verificaram que os 25 genótipos estudados, dentre estes BRS511, apresentaram florescimento médio um pouco mais tardio (78 dias após a germinação). Bolonhezi et al. (2013), em trabalho com sorgo sacarino, encontraram valores de florescimento para a variedade Silotec 20 de 83 dias e para a variedade CVSW 80007 de 77 dias após o plantio, na cidade de Ribeirão Preto.

Tabela 11- Florescimento (dias após semeadura) das variedades de sorgo sacarino em função das lâminas de irrigação

Variedades	Lâminas				
	25	50	75	100	125
BRS 511	104,00a	103,50 a	103,00 a	103,00 a	103,00 a
CVSW80007	88,50 c	86,00 c	86,00 c	88,50 c	91,00 c
Silotec 20	96,00 b	95,00 b	94,50 b	92,00 b	95,50 b
DMS	2,46				

DMS- diferença mínima significativa. Médias com mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

Tabela 12- Florescimento (dias após semeadura) das plantas de sorgo sacarino em função das variedades

	Variedades		
	BRS 511	CVSW 80007	Silotec 20
Florescimento	103 a	88 c	95 b
DMS	1,10		

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.3.5 Massa verde da parte aérea

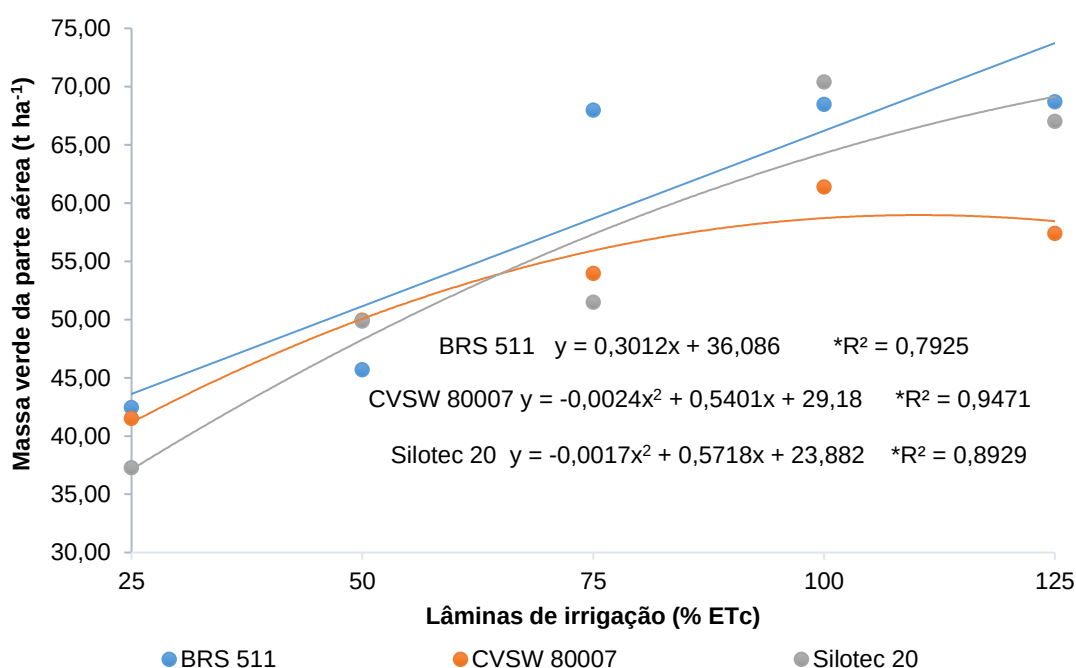
A massa verde da parte aérea sofreu influência das lâminas de irrigação ($p < 0,01$ %), conforme pode se observar na Figura 6. Segundo May et al. (2012), essa é uma característica primordial para o rendimento de etanol e serve como parâmetro indicador de eficiência agroindustrial.

Percebeu-se que 79,25 % da variação, ocorrida na massa verde da parte aérea da variedade BRS 511, mediante aplicação das lâminas de irrigação, foi explicitada pela equação linear. Esta variedade quando submetida a lâmina de 125 % da ETc

apresentou produtividade de 68,72 t ha⁻¹. Tragnago et al. (2014) encontraram produtividade de 40,94 t ha⁻¹ para esta variedade no plantio safrinha sob mesmo espaçamento e densidade de plantas. Souza et al. (2005), em experimento com sorgo sacarino sob irrigação, obtiveram 64 t ha⁻¹ de massa verde, valor similar ao encontrado no presente estudo. Com a irrigação desta cultura, há incrementos na produtividade de biomassa, mesmo quando semeada no outono/inverno, obtendo-se produtividade superior a safrinha e equivalente a semeadura tradicional.

Analisando a variedade CVSW 80007 (Figura 6) notou-se que a equação quadrática se adequou melhor aos dados (R^2 94,71). Verificou-se que a lâmina máxima estimada de irrigação correspondente a 112,58% da ETc e promoveu o acúmulo máximo de massa verde da parte aérea (59,57 t ha⁻¹). Observou-se que lâminas acima da máxima recomendada para esta variedade podem ocasionar decréscimo na massa verde. A variedade Silotec 20 ajustou-se à equação quadrática (R^2 89,71), para esta a lâmina máxima estimada foi de 168,18 % da ETc resultando em produtividade estimada de 48,08 t ha⁻¹. Percebeu-se que esta variedade necessita de uma quantidade maior de água em relação às demais avaliadas e, mesmo assim, produzirá quantidade de massa verde inferior.

Figura 6 – Massa verde da parte aérea das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)



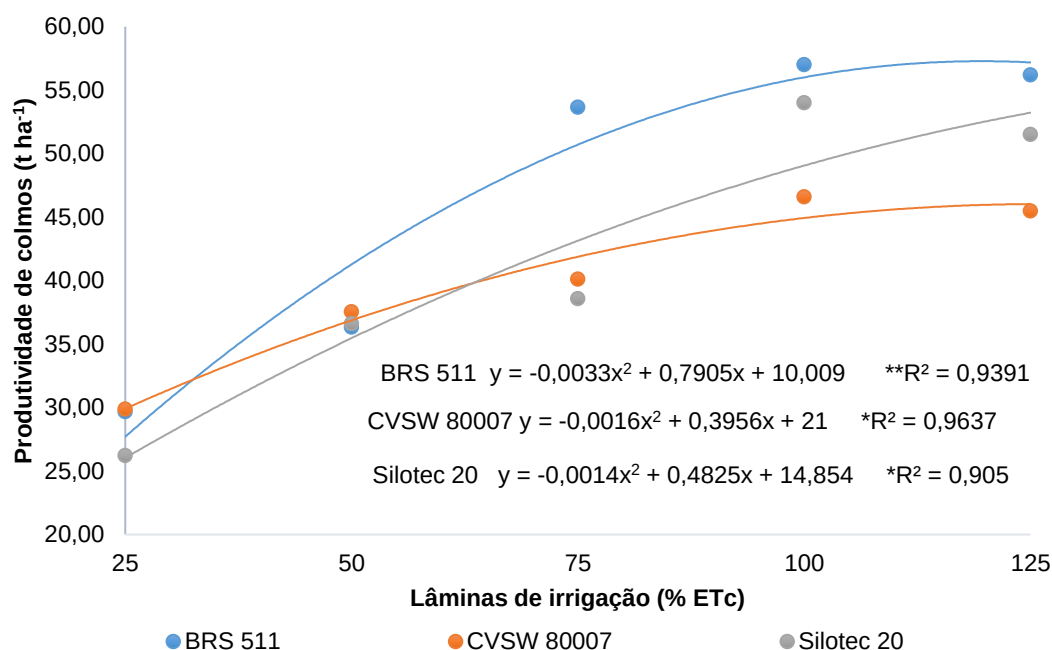
4.3.6 Produtividade de colmos

A produtividade de colmos afeta a quantidade e qualidade de caldo, bem como a produtividade de etanol. Colhendo-se colmos limpos, a qualidade do caldo e fermentação seguida de conversão à etanol torna-se superior quando comparado aos produtos obtidos a partir de colmos com palha ou da colheita das plantas inteiras (COSTA et al., 1981; EMYGDIO et al., 2012; MUTTON et al., 2015).

Na Figura 7 observa-se que a produtividade de colmos, para as variedades estudadas, apresentou resposta quadrática às lâminas de irrigação. Verificou-se que a variedade BRS 511 apresentou efeito significativo a 5% e coeficiente de determinação de 93,91%, o que significa que 93,91% da variação na produtividade ocorreu devido à variação nas lâminas. A lâmina de irrigação estimada de 119,77% da ETc resultou em uma produtividade máxima de 57,35 t ha⁻¹ de colmos e, sendo assim, para esta variedade alcançar a produtividade ideal não se recomenda lâminas acima tão pouco abaixo deste valor. Fernandes (2014) analisou a produtividade dos colmos desta variedade, sem irrigação, em duas safras agrícolas, e encontrou na safra 2012/2013 valor de 30,31 t ha⁻¹, enquanto que na safra 2013/2014 a produtividade foi de 48,21 t ha⁻¹. Percebe-se pelos resultados reportados que a irrigação além de permitir o cultivo em períodos secos (outono/inverno), contribui também para elevar a produtividade.

A produtividade máxima dos colmos na variedade CVSW 80007 (Figura 7) foi de 45,45 t ha⁻¹ e a lâmina de irrigação estimada que resultou nesta produtividade foi 123,63% da ETc a 1 % de significância. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Silva et al. (2013), que verificaram que a produtividade de colmos aumentou com níveis de irrigação e o modelo matemático ajustado foi o quadrático.

Figura 7 – Produtividade de colmos das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)



Na Silotec 20 o ajuste quadrático ($p < 0,01$ e $R^2 = 90,5\%$) mostrou que para se alcançar uma produtividade de colmo máxima de $56,42 \text{ t ha}^{-1}$ seria necessário fornecer uma lâmina equivalente a $172,32\%$ da ETc, valor este superior às lâminas avaliadas (Figura 7). Percebe-se que esta variedade necessita de maior volume de água para se chegar a uma produtividade de colmos próxima à das demais, para as mesmas condições edafoclimáticas como comentam May et al., (2012) e Fagundes et al., (2013). Esta variedade por apresentar uma demanda hídrica superior às demais não seria uma boa opção para semeadura no referido local estudado tendo em vista que o que se busca nos dias atuais é redução no consumo hídrico associado à elevada produtividade.

De acordo com os resultados da Tabela 13, verificou-se que independente das lâminas aplicadas e comparando-se as variedades, a produtividade de colmos variou de $46,58 \text{ t ha}^{-1}$ (BRS 511) a $39,93 \text{ t ha}^{-1}$ (CVSW 80007). Variações entre variedades podem ocorrer devido à fatores genéticos e ambientais como citam Fagundes et al. (2013); Fernandes (2014), tendo em vista que todas foram submetidas às mesmas condições edafoclimáticas. Estes valores de produtividade de colmos estão próximos àqueles observados por Souza et al. (2013) e Albuquerque et al. (2010), cujos quantitativos variaram de 45 a 55 t ha^{-1} .

Tabela 13- Produtividade de colmos (t ha⁻¹) das plantas de sorgo sacarino em função das variedades

	Variedades		
	BRS 511	CVSW 80007	Silotec 20
Produtividade de colmos	46,58 a	39,93 b	41,39 b
DMS	4,88		

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

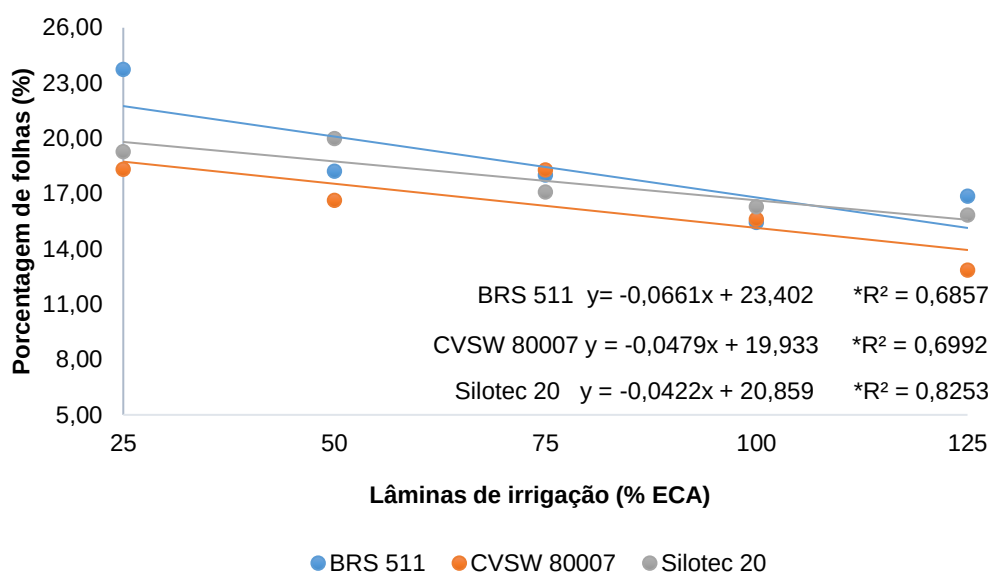
4.3.7 Porcentagem de folhas

As folhas são responsáveis pelo desenvolvimento e produtividade das espécies cultivadas uma vez que são responsáveis pela fotossíntese. De acordo com a Figura 8, em todas as variedades, a porcentagem de folhas mostrou resposta linear, porém decrescente à medida que se aumentou as lâminas de irrigação. Isso ocorreu possivelmente porque a água atua no crescimento, desenvolvimento e acúmulo do caldo no colmo. Quando o fornecimento de água é insuficiente para atender os processos morfofisiológicos e metabólicos, as plantas têm como reflexo uma redução no crescimento em altura (primário) e secundário (diâmetro de colmo). A porcentagem de folhas em relação às demais partes da planta foi maior na menor disponibilidade hídrica (25% da ET_c), pois, nestas condições as plantas apresentaram redução em seu tamanho, diâmetro e produtividade, porém a quantidade de folhas foi mantida por ser uma característica genética.

As variedades BRS 511 ($p < 0,01$), CVSW80007 ($p < 0,05$) e Silotec 20 ($p < 0,05$), para a lâmina de 25% da ET_c, apresentaram uma porcentagem de folhas de 23,73%, 18,32% e 19,28%, respectivamente. Valores maiores foram obtidos por Souza et al. (2005) que analisaram sorgo sacarino em condições irrigadas e fertilização orgânica e mineral, tendo observado uma porcentagem de folhas máxima de 28,12%.

Para a lâmina de 125% da ET_c, a porcentagem comparada às demais partes da planta foi de 16,85 %, 12,85% e 15,84% (BRS 511, CVSW 80007), sendo assim, houve redução de 6,88%, 5,47% e 3,44%. Notou-se que a variedade Silotec 20 foi a que apresentou menor redução de folhas.

Figura 8 – Porcentagem de folhas das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da evapotranspiração de cultura (%ETc)



4.3.8 Sólidos solúveis totais do caldo

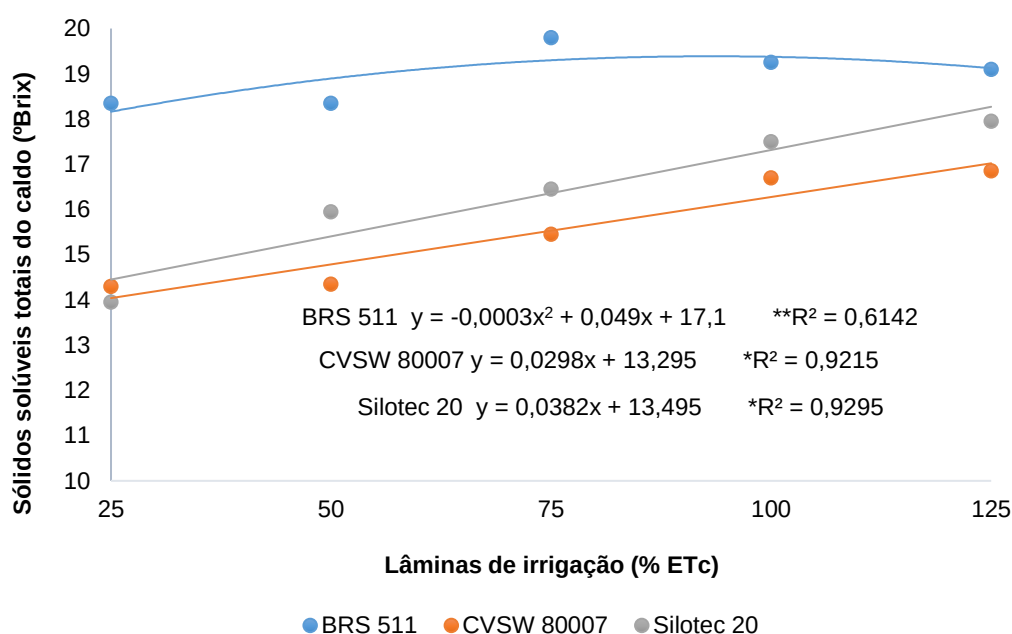
Os teores de sólidos solúveis totais das variedades encontram-se ilustrados na Figura 9. Para a variedade BRS 511 observou-se ajuste ao modelo quadrático, com efeito significativo a 5% e coeficiente de determinação de 61,42 %. Notou-se que o acúmulo máximo de sólidos solúveis totais presentes no caldo foi de 21,08 °Brix com lâmina ótima de 81,67% da ETc, abaixo e acima desta lâmina houve redução nos teores.

Os dados de sólidos solúveis totais da variedade CVSW 80007 mostraram ajuste linear ($p < 0,01$) sendo que, 92,15% das variações nesta característica tecnológica foram explicadas por esta equação. Para as lâminas e a variedade avaliada no presente estudo, verificou-se que o menor e o maior acúmulo de sólidos solúveis foram 14,3 °Brix e 16,85 °Brix nas lâminas de 25% e 125% de reposição da ETc. Câmara et al. (2016) trabalharam com a mesma variedade, espaçamento e população de plantas sob irrigação suplementar e encontraram teor de 15,79 °Brix, valor menor ao encontrado na maior lâmina avaliada no presente estudo.

Comportamento similar foi observado na variedade Silotec 20, com ajuste linear ascendente ($p < 0,01$) para o teor de sólidos solúveis totais. Na lâmina de 125% da ETc, notou-se o maior valor, neste caso, 17,95° Brix. Este resultado foi similar com o

reportado por Câmara et al. (2016), em ensaio da referida cultivar submetida a irrigação, ou seja, 17,47 °Brix. Já no ensaio de Bolonhezi et al. (2013), esta alcançou teor máximo de 13,2 °Brix. Moreira et al. (2014) em pesquisa com sorgo sacarino sob tensões de água no solo obtiveram rendimentos maiores para esses sólidos com umidade no solo mais elevada. Logo notou-se que a variedade BRS 511 produz mais em menor disponibilidade de água.

Figura 9 – Sólidos solúveis totais do caldo das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)



Na Tabela 14 nota-se que houve interação entre lâminas de irrigação e as variedades estudadas. Verificou-se diferença significativa e a variedade BRS 511 em todas as lâminas estudadas mostrou-se superior no que se refere ao teor de sólidos solúveis totais e os teores oscilaram entre 18,35 a 19,80 °Brix. Valor menor foi descrito por Souza et al. (2013) que obtiveram para a mesma variedade 16,8 °Brix. Como apresentado e discutido na Figura 9, ocorreu uma tendência na redução dos sólidos solúveis com aumento do fornecimento de água, provavelmente, devido à dissolução dos açúcares.

Notou-se que os sólidos solúveis totais expressos em °Brix dos materiais descritos na Tabela 14 estão próximos aos reportados por Emygdio et al. (2012), em ensaio

contendo 22 cultivares de sorgo sacarino no sul do país, semeados na época das águas, ou seja, entre 13,5 a 20,6 °Brix.

Tabela 14 - Sólidos solúveis totais (°Brix) das variedades de sorgo sacarino em função das lâminas de irrigação

Variedades	Lâminas				
	25	50	75	100	125
BRS 511	18,35 a	18,3500 a	19,80 a	19,5 a	19,150 a
CVSW80007	14,30 b	15,450 b	14,50 b	16,700 b	16,850 b
Silotec 20	13,95 b	15,950 b	16,45 b	17,500 ab	17,950 ab
DMS	1,80				

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

Comparando-se os dados médios de sólidos solúveis totais entre as variedades, independente da lâmina aplicada (Tabela 15), observou-se que o menor teor de açúcares solúveis ocorreu na variedade CVSW 80007 (15,53 °Brix) seguida pela Silotec 20 (16,36 °Brix). Estes resultados mostraram-se superiores aos obtidos por Bolonhezi et al. (2013) que conduziram uma pesquisa com os mesmos materiais genéticos em São Paulo e os resultados para CVSW 80007 foram 7,4° Brix e 13,2 ° Brix para Silotec 20. Masson et al. (2015) analisaram sorgo sacarino CVSW 80007 com semeadura e colheita no verão e obtiveram teor de sólidos solúveis de 19,23 °Brix.

Tabela 15- Sólidos solúveis totais (°Brix) variedades de sorgo sacarino

	Variedades		
	BRS 511	CVSW 80007	Silotec 20
Sólidos solúveis totais	18,98 a	15,53 c	16,36 b
DMS	0,80		

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

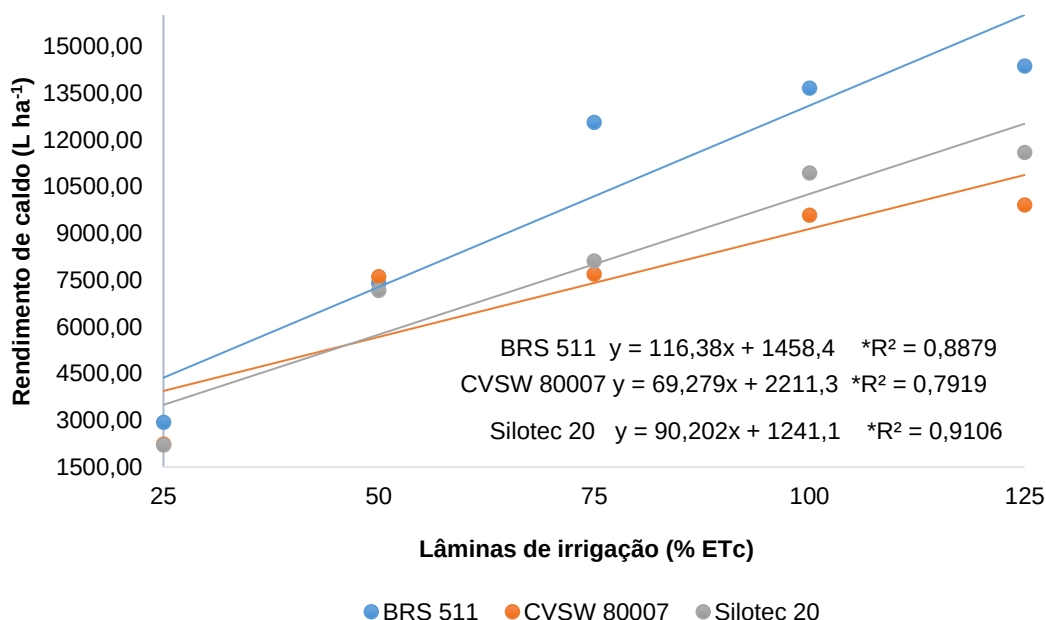
4.3.9 Rendimento de caldo

A Figura 10 apresenta os dados de rendimento de caldo das variedades para a fonte de variação lâminas de irrigação. Verificou-se que as variedades responderam de modo significativo ao nível de 1% de significância. Notou-se que 88,79%, 79,19% e 91,06% das variações para as variedades BRS 511, CVSW 80007 e Silotec 20,

ocorridas no rendimento do caldo, em função dessas lâminas, foram fundamentadas pela regressão linear.

No caso da variedade BRS 511 o acréscimo de uma unidade em mm na lâmina de irrigação aumenta em 116,4 L ha⁻¹ o rendimento de caldo. Mesmo comportamento também ocorreu para as demais, ou seja, elevando-se um mm nas lâminas resultou em aumentos de 69,27 L ha⁻¹ para CVSW80007 e 90,20 L ha⁻¹ para Silotec 20. Mediante os resultados, percebeu-se que para acumular maior quantidade de caldo nos colmos das plantas de sorgo sacarino é necessário suprimento hídrico adequado, ao passo que a limitação e/ou excesso hídrico podem diminuir o rendimento do caldo. Moreira et al. (2014) trabalharam com irrigação em sorgo sacarino sob tensões de água no solo e, também notaram que a quantidade de caldo foi maior quando elevou-se o teor de água no solo.

Figura 10 – Rendimento de caldo das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)



De acordo com a Tabela 16, verificou-se que ocorreu interação significativa ($p < 0,01$) para variedades x lâminas de irrigação. Notou-se que não ocorreu diferença para as lâminas de 25% e 50% da ETc entre as variedades. Mas a partir da lâmina equivalente a 75% da ETc, a diferença processou-se e a BRS 511 foi superior às

demais. Nesta a amplitude de variação entre a maior e a menor lâmina foi de 11.422,36 L ha⁻¹. Este fato ocorreu, provavelmente, porque em níveis de disponibilidade hídrica menores a cultura apresentou menor crescimento e diâmetro de colmos resultando em baixo acúmulo de caldo. Os referidos resultados corroboram com a citação de Taiz e Zeiger (2013) que relataram que em condições de déficit hídrico uma das principais respostas é a queda na taxa fotossintética e metabolismo da planta, o que afeta o acúmulo de fotoassimilados, com consequente redução no crescimento. Em todas as variedades percebeu-se que os rendimentos do caldo foram superiores na lâmina de 125% da ETc, sobressaindo-se a BRS 511 com rendimento de 14.365,91 L ha⁻¹. Este resultado foi superior ao apresentado por Giacomini et al. (2013), que analisaram o potencial produtivo de 25 cultivares e observaram que a média geral de rendimento de caldo foi 11.000 L ha⁻¹.

Tabela 16- Rendimento de caldo (L ha⁻¹) das variedades de sorgo sacarino em função das lâminas de irrigação

Variedades	Lâminas				
	25	50	75	100	125
BRS 511	2.943,55 a	7.405,77a	12.562,84a	13.654,94a	14.365,91a
CVSW80007	2.235,50 a	7.688,69 a	7.615, 40 b	9.587,04b	9.909,55 b
Silotec 20	2.943,55 a	7.168,30 a	8.116,74 b	10.943,01b	11.595,35b
DMS	1459,91				

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

Comparando-se as variedades independente das lâminas (Tabela 17), notou-se que a BRS511 se adaptou melhor às condições edafoclimáticas locais, refletindo em maior rendimento que foi de 10.186,60 L ha⁻¹. Já para a CVSW 80007 e a Silotec 20, foram observados os menores rendimentos sendo, respectivamente, 7.407,24 L ha⁻¹ e 8.006,18 L ha⁻¹. Todos os resultados encontrados foram superiores aos observados por Emygidio (2011), em que o volume máximo de caldo extraído foi de 4.350 L ha⁻¹ em ensaio no sul do país; bem como aos obtidos por Gonçalves et al. (2016) em sua pesquisa com BRS 511 sob adubação nitrogenada, em Jaboticabal, cujo maior volume médio de caldo foi de 3.620 L ha⁻¹.

Tabela 17- Rendimento de caldo (L ha⁻¹) das plantas de sorgo sacarino em função das variedades

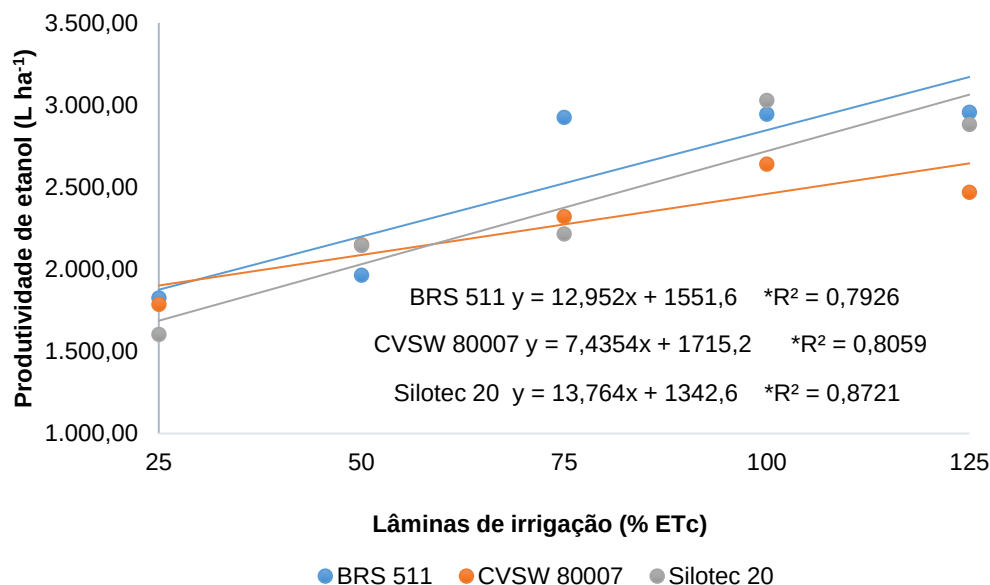
	Variedades		
	BRS 511	CVSW 80007	Silotec 20
Rendimento de caldo	10186,60 a	7407,24 b	8006,18 b
DMS	1148,29		

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 1 % de significância.

4.3.10 Produtividade de etanol

A produtividade de etanol está ligada às características tecnológicas como produtividade de colmos, °Brix, açúcares redutores, açúcares totais recuperáveis, rendimento de caldo, quantidade de fibra industrial (PARRELLA, 2011). Há estudos os quais relatam que a produtividade dos colmos é uma característica agroindustrial que correlaciona-se com volume de etanol e, portanto, quanto mais elevada for a produtividade dos colmos maiores as produtividades de caldo e etanol (PARRELLA; SCHAFFERT, 2012). A produtividade de etanol, em função das lâminas para cada variedade, encontra-se representada na Figura 11. Verificou-se que esta característica tecnológica teve comportamento similar ao descrito para o rendimento de caldo. Para todas variedades ocorreu ajuste linear ($p < 0,01$) até a lâmina testada.

Figura 11 – Produtividade de etanol das variedades de sorgo sacarino submetidas a lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)



Para a menor lâmina, produtividades de etanol inferiores foram notadas sendo, respectivamente, 1.826,092 L ha⁻¹ para BRS 511; 1.785,76 L ha⁻¹ na CVSW 80007 e 1.603,59 L ha⁻¹ para Silotec 20. Os maiores valores ocorreram para a lâmina 125% da ETc sendo, respectivamente, 2.955,035 L ha⁻¹; 2.469,038 L ha⁻¹ e 2.882,55 L ha⁻¹ para BRS 511, CVSW 80007 e Silotec 20. Esses resultados discordam dos obtidos por Borges et al. (2010), cuja produtividade variou entre 3.508 e 6.636 L ha⁻¹ e corroboram com os encontrados por Emygdio et al. (2011), que obtiveram para o sorgo sacarino produtividades de etanol entre 2.640 L ha⁻¹ e 3.850 L ha⁻¹.

Câmara et al. (2016) cultivaram Silotec 20 no verão em Ribeirão Preto e verificaram em seu ensaio para a mesma população de plantas e espaçamento uma produtividade de 65,62 L t⁻¹ de etanol, enquanto que, no presente trabalho, a mesma variedade produziu 43,0 L t⁻¹. Mediante os resultados obtidos, nota-se que é possível alcançar produtividades de etanol sob irrigação no período de outono/inverno similares a cultivos efetuados na primavera/verão.

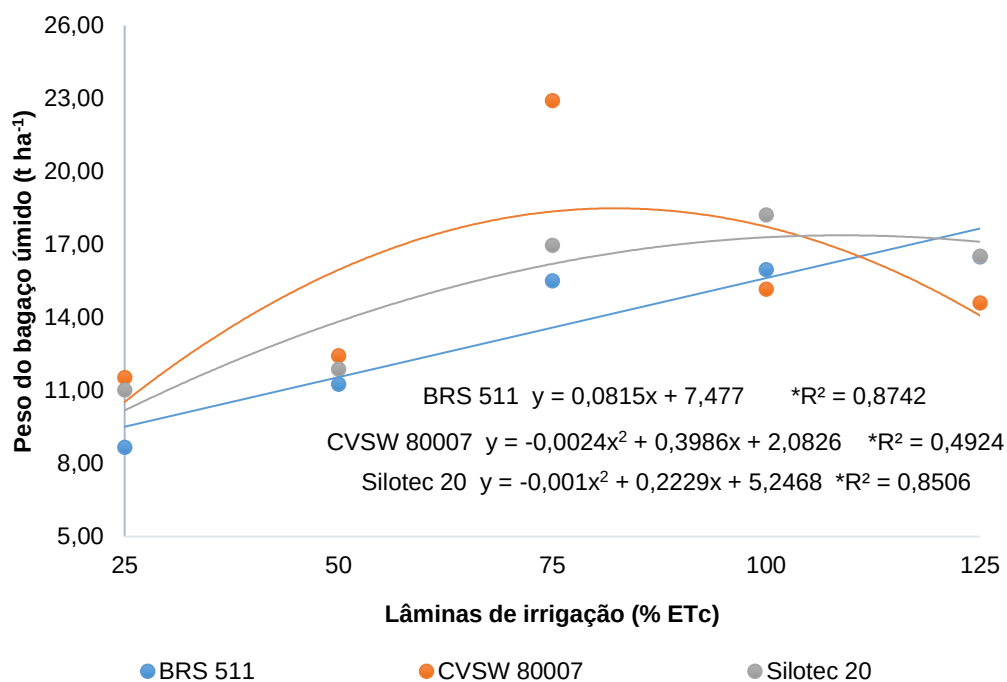
4.3.11 Peso do bagaço úmido

Os dados do peso do bagaço úmido (PBU) das variedades são apresentados na Figura 12. Notou-se que houve variação significativa a 1% e que, para a variedade BRS 511, 87,42 % das variações ocasionadas pelas lâminas de irrigação foram explicadas pela equação linear. Conforme a equação, o incremento de 1 mm na lâmina promoveu acréscimo de 0,0815 t ha⁻¹ (81,5 kg ha⁻¹) no PBU. O menor e maior valor observados para essa característica foram 8,68 e 16,51 t ha⁻¹ nas lâminas de 25 % e 125% da ETc, respectivamente. Neste caso, a quantidade de bagaço aumentou proporcionalmente ao incremento da água. Barcelos (2012) reporta que o bagaço de sorgo sacarino pode ser empregado na alimentação de animais e cita que sua qualidade biológica é superior ao da cana-de-açúcar. Oliveira e Ramalho (2006); Lourenço et al., (2010) relatam que esse subproduto é usado como fonte de energia pelas usinas. A partir do bagaço pode-se produzir etanol de 2º geração e energia elétrica.

A variedade CVSW 80007 apresentou resposta quadrática, e a lâmina estimada equivalente a 83,04% da ETc promoveu produtividade de bagaço úmido máxima de 18,63 t ha⁻¹. A variedade Silotec 20 para a característica PBU também se ajustou à equação quadrática, nesta, a lâmina estimada de 111,45% de reposição da ETc

resultou numa produtividade máxima de 17,67 t ha⁻¹ de bagaço. KLINK (2010) obteve 30 t ha⁻¹ de bagaço de sorgo sacarino no interior de São Paulo. Já Emygdio et al. (2011) avaliaram cultivares em diferentes populações e tiveram produção de bagaço oscilando de 7 a 17 t ha⁻¹.

Figura 12 – Peso do bagaço úmido das variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)



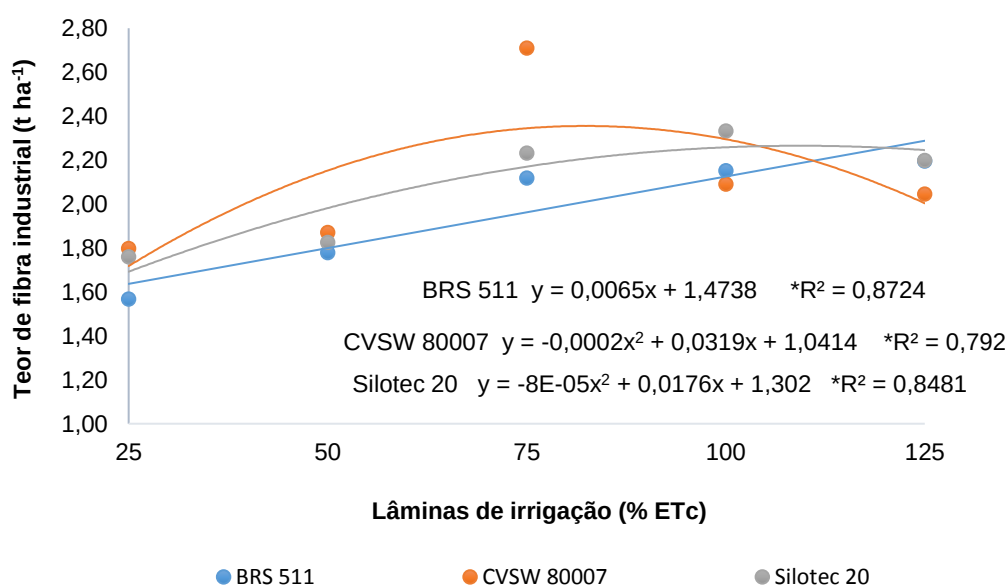
4.3.12 Teor de fibra industrial

Observou-se, através da Figura 13, que os teores de fibra industrial (TFI) da variedade BRS 511 ajustaram-se à equação linear ($p < 0,01$), sendo o menor e o maior teor obtidos nas lâminas de 25% da ETc (1,57 t ha⁻¹) e 125% da ETc (2,20 t ha⁻¹). Percebeu-se que a água é importante para acúmulo de caldo e de fibra nos colmos. Fernandes (2014), para esta mesma variedade e característica, encontrou valor de 5,51 t ha⁻¹ porém, com 142.000 plantas ha⁻¹. Vale salientar que elevados teores de fibra podem dificultar a extração de açúcares por parte das moendas (MARTINS, 2014). Oliveira et al. (2009) reportam que TFI elevados conferem maior resistência à

extração do caldo. Sendo assim, os teores obtidos no presente trabalho não dificultaram o processo de extração.

Os dados das variedades CVSW 80007 e Silotec 20 ajustaram-se à regressão quadrática ($p < 0,01$). Para as variedades CVSW 80007 e Silotec 20 as lâminas estimadas correspondentes a 79,75 % e 110% da ETc resultaram em teores de fibra máximos de 2,31 t ha⁻¹ e 2,27 t ha⁻¹ teores esses que são considerados adequados ao processamento uma vez que, de acordo com Oliveira et al. (2009), a quantidade de fibra deve variar de 10,5% a 12% em relação à produtividade de biomassa. Nóbile et al. (2014) citam que esse teor varia conforme condições edafoclimáticas e agronômicas. Martins (2014) cita que o TFI de sorgo sacarino é um parâmetro varietal importantíssimo no cálculo de açúcares totais recuperáveis (ATR) e também, para produção de energia nas usinas.

Figura 13 – Teor de fibra industrial das variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)

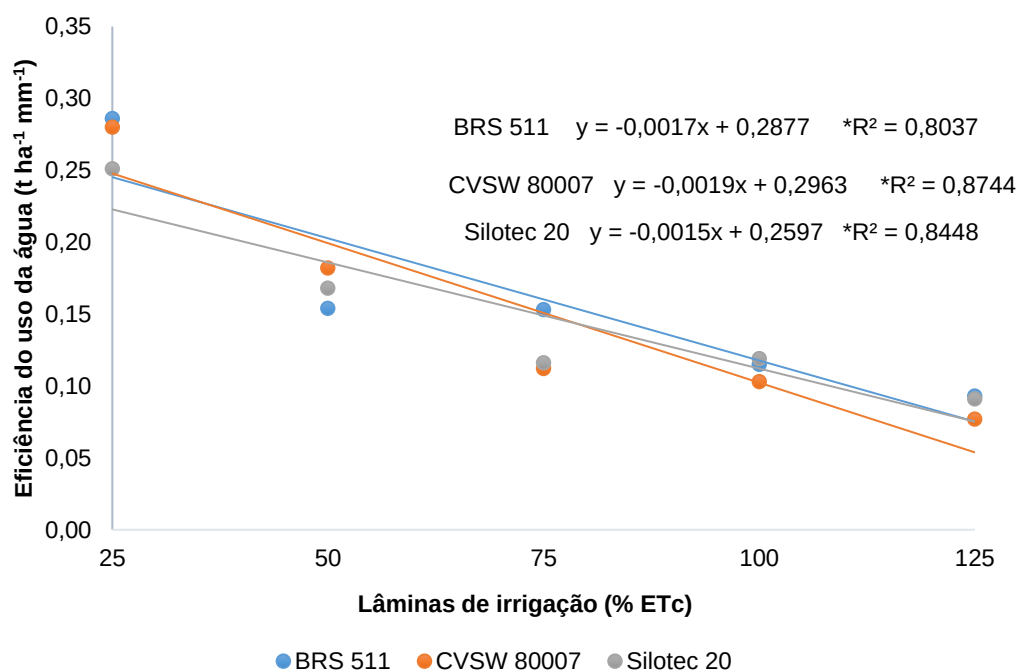


4.4 Eficiência do uso da água

As equações de regressão da eficiência do uso de água (EUA) para as variedades de sorgo sacarino estão ilustradas na Figura 14. A EUA em todas as variedades estudadas apresentou resposta linear decrescente ($p < 0,01$), sendo a maior eficiência

encontrada para a lâmina de 25% da ETc e com valor, respectivamente, de 0,286 t ha⁻¹ mm⁻¹, 0,280 t ha⁻¹ mm⁻¹ e 0,251 t ha⁻¹ mm⁻¹ para BRS 511, CVSW 80007 e Silotec 20. Com o aumento de uma unidade (mm) nas lâminas observou-se redução de 0,0017 t ha⁻¹ mm⁻¹ (BRS 511); 0,0019 t ha⁻¹ mm⁻¹ (CVSW 80007) e 0,0015 t ha⁻¹ mm⁻¹ (Silotec 20). Em beterraba açucareira irrigada por gotejo, Topak et al. (2011) obtiveram comportamento similar, pois nos níveis de 25 e 50% da ETc foram notados maiores EUA. É importante ressaltar que neste caso o uso mais eficiente de água não foi aquele que proporcionou maior produtividade. Por se tratar de uma cultura que acumula caldo em seus colmos é importante o fornecimento hídrico adequado o qual, às vezes não corresponde ao mais eficiente.

Figura 14 – Eficiência do uso da água das variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes lâminas de irrigação em função da porcentagem da evapotranspiração de cultura (%ETc)



4.5 Análise química do solo

4.5.1 Análise de variância das propriedades químicas do solo

Nas Tabelas 18 e 19 encontram-se os resultados da análise de variância das propriedades químicas do solo sob lâminas de irrigação, variedades e camadas

avaliadas. Em se tratando da interação lâminas de irrigação e camadas de solo amostradas, notou-se significância a 1 % para o cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), fósforo (P), capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V) e pH; já a matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO) mostram-se significativos a 5%. Analisando-se a interação entre variedades e camadas de solo, verificou-se que o Mg, Al e K apresentaram significância ao nível de 1 % e o P a 5%.

As lâminas de irrigação influenciaram a dinâmica de propriedades químicas no solo, comportamento também observado por Lima et al., (2009) e Assis et al., (2010).

Tabela 18 - Resumo da análise de variância para as propriedades químicas cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio + alumínio (H+Al), potássio (K), fósforo (P), em função de lâminas, variedades e camadas de solo

FV	GL	Quadrados Médios					
		Ca	Mg	Al	H+Al	K	P
		-----cmo _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³
Lâmina	4	20,963*	1,209*	0,004 ^{ns}	24,435*	0,150*	794,686 ^{ns}
Variedade	2	0,402 ^{ns}	0,078 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,196 ^{ns}	0,091**	612,716 ^{ns}
Bloco	3	25,263*	0,258 ^{ns}	0,003 ^{ns}	2,874*	0,085*	61,071 ^{ns}
Lâm. x Var.	8	1,932 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,202 ^{ns}	0,021 ^{ns}	1018,768 ^{ns}
Erro 1	32	1,077	0,034	0,002	0,254	0,021	411,531
Cam.	2	37,154*	0,327*	0,006*	5,361*	0,731*	5.419,362**
Lâm. x Cam.	8	2,953*	0,173*	0,001 ^{ns}	4,504*	0,013 ^{ns}	1.112,008*
Var. x Cam.	4	0,712 ^{ns}	0,067 ^{ns}	0,004*	0,008 ^{ns}	0,054*	611,568**
Var x Lâmina x Cam.	16	0,697 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,145 ^{ns}	0,027 ^{ns}	974,799 ^{ns}
Erro 2	100	0,820	0,018	0,001	0,161*	0,013	193,407
CV 1 (%)	-	29,48	19,33	21,08	20,97	52,84	15,94
CV 2 (%)	-	25,73	14,16	19,67	16,69	41,32	15,53

GL- grau de liberdade. * e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} - não significativo. CV- Coeficiente de variação.

Tabela 19 - Resumo da análise de variância para as propriedades químicas capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V), pH do solo (pH), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO), em função de lâminas, variedades e camadas de solo

FV	GL	Quadrados Médios					
		CTC	SB	V	pH	MO	CO
		-----cmo _c dm ⁻³ -----		%		g dm ⁻³	
Lâmina	4	33,982*	30,869*	2.669,544*	2,021*	45,367*	15,329*
Variedade	2	0,174 ^{ns}	0,828 ^{ns}	26,535 ^{ns}	0,033 ^{ns}	8,600 ^{ns}	2,494 ^{ns}

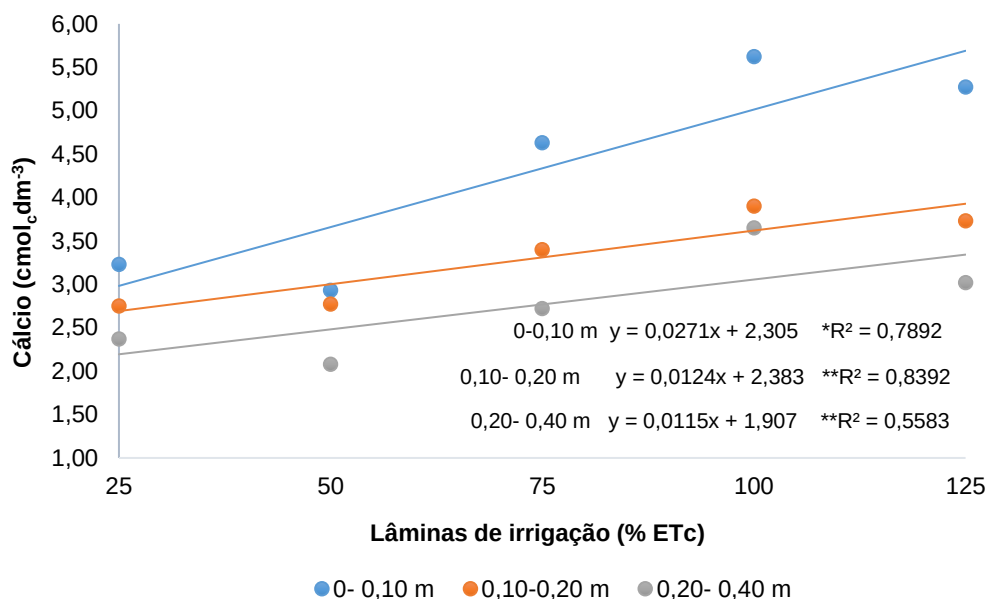
Bloco	3	16,017*	30,626*	1500,933*	2,066*	21,600 ^{ns}	7,266 ^{ns}
Lâm. x Var.	8	3,291 ^{ns}	2,726 ^{ns}	64,451 ^{ns}	0,097 ^{ns}	15,850 ^{ns}	5,171 ^{ns}
Erro 1	32	1,411	1,409	63,778	0,073	9,528	3,262
Cam.	2	26,492*	43,734*	2.989,629*	1,634*	107,267*	37,349*
Lâm. x Cam.	8	4,094*	4,489*	367,605*	0,287*	28,183**	9,252**
Var. x Cam.	4	1,241 ^{ns}	1,086 ^{ns}	32,475 ^{ns}	0,070 ^{ns}	20,467 ^{ns}	6,562 ^{ns}
Var x Lâm. x Cam.	16	1,148 ^{ns}	0,949 ^{ns}	39,990 ^{ns}	0,061 ^{ns}	33,967 ^{ns}	10,801 ^{ns}
Erro 2	100	0,834	1,002	39,934	0,042	10,843	3,670
CV 1 (%)	-	16,58	26,53	12,23	5,05	10,84	10,93
CV 2 (%)		12,75	22,37	9,70	3,79	11,57	11,62

GL- graus de liberdade. * e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} -não significativo. CV- Coeficiente de variação.

4.5.2 Cálcio

Os valores de cálcio (Ca) para a interação entre camadas do solo x lâminas de irrigação constam na Tabela 20 e estão ilustrados na Figura 15. Os resultados para o Ca na camada 0 - 0,10 m ajustaram-se à equação linear crescente ($p < 0,01$). O teor de Ca mais elevado foi notado nas parcelas submetidas à lâmina de 125 % da ETc ($5,27 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$). Comportamento similar ocorreu nas camadas de 0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, porém, o ajuste linear foi significativo ao nível de 5%. Este fato ocorreu pois, a reação do calcário se processa em meio aquoso (SOUZA et al., 2007), logo, o aumento da disponibilidade hídrica no solo ocasionou maior solubilização do corretivo, resultando em maior concentração de Ca no solo em profundidade, devido à mobilidade desse elemento no solo.

Figura 15 – Teores de cálcio sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



Mediante a análise das camadas de solo amostradas (Tabela 20) percebeu-se que as lâminas de 25 e 50% da ETc não promoveram diferença significativa entre os teores de Ca, porém, a partir da lâmina de 75% da ETc, a maior concentração desse nutriente se deu na camada de 0 – 0,10 m. Segundo Malavolta (2006), a adição de calcário favorece o acúmulo de Ca e Mg na superfície do solo.

Os teores de Ca remanescentes, conforme a classificação desenvolvida pela CFSG (1988) para o teor de argila presente no solo analisado (entre 20 - 40%), foram considerados altos ($> 2,5 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) para as lâminas e camadas amostradas, com exceção da camada de 0,20 - 0,40 m e lâminas de 25 e 50% da ETc os quais, foram considerados médios ($1 \text{ a } 2,5 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$).

Tabela 20 - Teores de cálcio ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) em função das camadas de solo amostradas e lâminas de irrigação

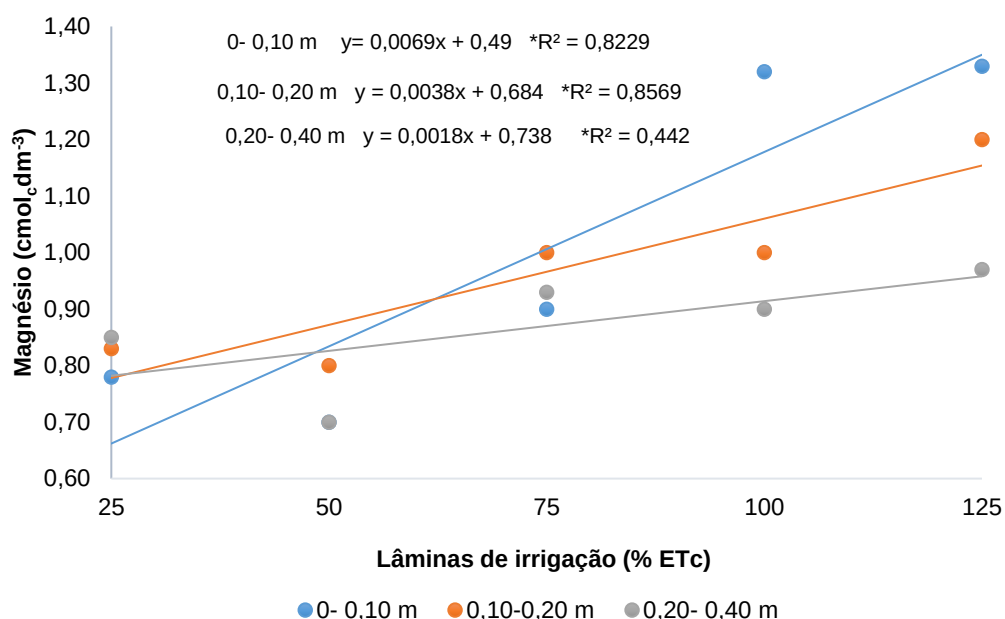
Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	3,23 a	2,93 a	4,63 a	5,62 a	5,27 a
0,10-0,20	2,75 a	2,77 a	3,40 b	3,90 b	3,73 b
0,20-0,40	2,37 a	2,08 a	2,72 b	3,65 b	3,02 b
DMS	0,88				

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.5.3 Magnésio

De acordo com a Figura 16 verificou-se que os teores de Mg nas camadas de solo apresentaram resposta linear no nível de 1% de significância para as lâminas de irrigação testadas, resultado este similar aos obtidos para o Ca. Notou-se que a água exerce papel fundamental na solubilidade e disponibilização deste nutriente. As maiores quantidades de Mg remanescentes nas camadas 0-0,10 m ($1,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); 0,10-0,20 m ($1,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 0,20 – 0,40 m ($0,97 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foram obtidos para a lâmina de 125% da ETc.

Figura 16 – Teores de magnésio sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



Pela análise comparativa entre camadas para cada lâmina de irrigação (Tabela 21) notou-se que os teores de Mg foram maiores para a camada de 0-0,10 m nas lâminas equivalentes a 100% e 125% de reposição da ETc, decrescendo em profundidade. A quantidade de água afetou a dissolução do calcário disponibilizando deste modo maiores concentrações de Mg e este fato foi notório para as lâminas citadas anteriormente. Para as outras lâminas não ocorreu diferença significativa entre as camadas.

Tabela 21-Teores de magnésio ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) em função das camadas de solo amostradas e lâminas de irrigação

Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	0,78 a	0,70 a	0,90 a	1,32 a	1,33 a
0,10-0,20	0,83 a	0,80 a	1,00 a	1,10 b	1,20 b
0,20-0,40	0,85 a	0,70 a	0,93 a	0,90 c	0,97 c
DMS	0,13				

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.5.4 Potássio

O potássio (K) é um nutriente que exerce influência sobre a qualidade tecnológica e produtividade das culturas (CAIXETA, 2013). Esse nutriente tem papel importante na translocação e acúmulo de sacarose no colmo de sorgo sacarino (MARSCHNER, 1995; SOARES et al., 2013).

Os teores de K apresentaram interação significativa somente entre as variedades e camadas conforme os resultados expostos na Tabela 22. Apenas na camada de 0 - 10 m houve diferença entre as variedades, e a maior quantidade de K no solo foi encontrada nas parcelas cultivadas com a variedade BRS 511 ($0,50 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) e o menor teor nas cultivadas com Silotec 20 ($0,31 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$). Esses resultados evidenciam que BRS511 extrai menor quantidade de K em relação às demais na camada superficial (0-10 m). Vale ressaltar que a disponibilização dos nutrientes foi efetuada de acordo a quantidade requerida pela cultura, ou seja, a mesma para todas as variedades.

Tabela 22 - Teores de potássio ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) em função das variedades e camadas de solo amostradas

Variedades	Camadas (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
BRS 511	0,50 A a	0,22 A b	0,23 A b
CVSW80007	0,40 B a	0,24 A b	0,20 A b
Silotec 20	0,31 C a	0,23 A ab	0,17 A b
DMS	0,09		

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

Ao comparar as camadas de solo (Tabela 22) verificou-se que, para as variedades estudadas, os teores remanescentes desse nutriente foram superiores na camada de 0-10 m e oscilaram de $0,31$ a $0,50 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$, resultados que são classificados por Raij

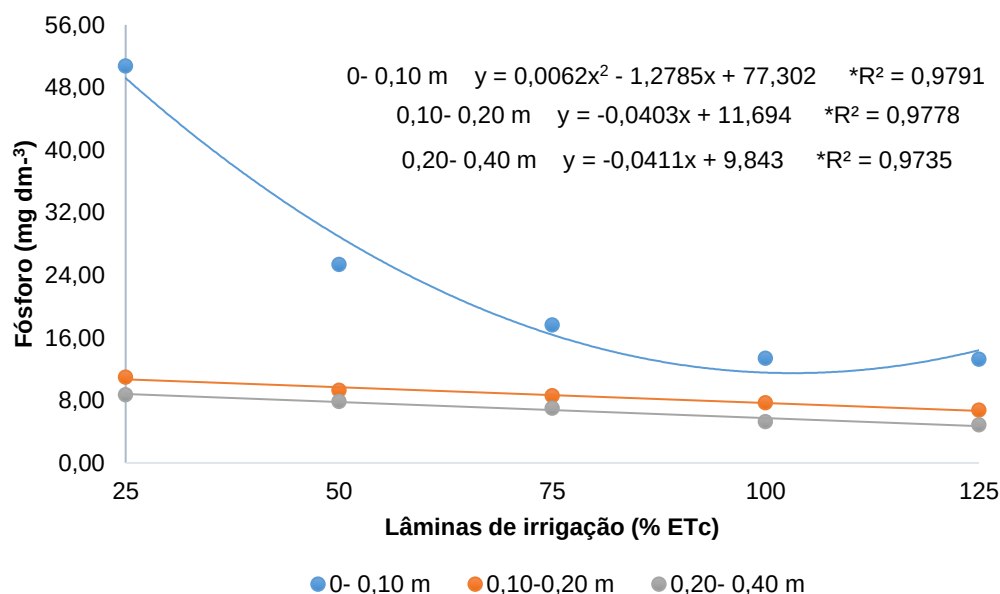
(2011) como altos ($> 0,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Esse resultado está correlacionado com a profundidade efetiva do sistema radicular do sorgo sacarino que se encontra abaixo desta camada e, logo, a maior absorção radicular ocasionou menores concentrações em camadas subsuperficiais.

4.5.5 Fósforo

A análise dos teores de P em cada camada de solo submetida às lâminas de irrigação (Figura 17) permitiu verificar que na camada de 0-0,10 m houve resposta quadrática ($p < 0,01$). Neste caso, a lâmina estimada de 103,10 % da ETc pode ter ocasionado maior solubilização do fósforo o que favoreceu sua absorção pela cultura resultando no menor teor no solo de $11,39 \text{ g dm}^{-3}$.

Nas camadas de 0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,40m, respectivamente, 97,78% e 97,35% das variações nos teores de P foram explicadas pela equação linear. Nessas camadas o aumento nas lâminas de irrigação ocasionou solubilização, com consequente absorção deste nutriente, reduzindo sua quantidade no solo. Dominghetti et al. (2014) salientam que a extração de P se dá por difusão, e que a absorção e o movimento desse nutriente no solo estão condicionados à quantidade de água, uma vez que a água atua no processo de transporte.

Figura 17 – Teores de fósforo sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



Na Tabela 23 verificou-se que houve variação significativa entre as camadas de solo nas lâminas equivalentes a 25% e 50% de reposição da ETc. Nessas lâminas, os maiores teores foram encontrados na camada de 0 – 0,10 m sendo de 50,75 e 25,40 mg dm⁻³, respectivamente, e nas demais camadas observou-se um decréscimo. Nestes tratamentos a maior concentração de P na camada superficial ocorreu devido ao menor fornecimento de água promovido por estas lâminas, fato que contribuiu para reduzir a percolação deste nutriente. Além do mais, o P tem sua mobilidade no solo afetada pela adsorção em óxidos hidratados de ferro e alumínio e essa adsorção é mais pronunciada em solos como os Latossolos, o que dificulta sua movimentação em camadas mais profundas.

Resultados de pesquisas conduzidas por Aquino et al. (2012) e Reis et al. (2011) apontam interação entre o P e disponibilidade de água no solo, sendo que níveis adequados de irrigação favorecem a translocação em profundidade bem como o aumento na absorção deste nutriente pelas culturas, reduzindo os teores no solo.

Tabela 23 - Teores de fósforo (mg dm⁻³) em função das camadas de solo amostradas e lâminas de irrigação

Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	50,75 a	25,40 a	17,65 a	13,28 a	13,40 a
0,10-0,20	10,98 b	9,32 b	8,60 a	7,70 a	6,75 a
0,20-0,40	5,32 b	4,88 b	7,88 a	8,73 a	7,02 a
DMS	13,51				

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

A interação entre as variedades e camadas de solo para o P é apresenta na Tabela 24. Comparando-se as variedades de sorgo sacarino para cada camada notou-se maior teor deste nutriente nas parcelas cultivadas com a BRS 511 na camada de 0 a 0,10 m (34,51 mg dm⁻³). No entanto, as demais variedades não diferiram entre si e os teores no solo foram menores. Esses resultados mostram menor extração de P pela variedade BRS 511 nesta camada. Braga et al. (2014) avaliaram a concentração de P em caldo de genótipos de sorgo sacarino e verificaram menores concentrações justamente na variedade BRS 511. Pelos resultados apresentados nas condições em que o experimento foi conduzido, percebeu-se que a BRS 511 teve menor exigência em P e foi a que obteve maior produtividade, portanto, demanda menor quantidade

deste nutriente quando comparada às demais, fato que representa uma economia quanto à dose do mesmo. Nas demais camadas não ocorreu diferença entre as variedades.

Analisando-se as camadas de solo amostradas, para cada variedade, verificou-se diferença significativa entre as mesmas para as variedades BRS 511 e CVSW 80007, sendo que os maiores teores de P foram notados na camada 0-0,10 m. A distribuição do P é limitada às camadas mais superficiais em função de sua baixa mobilidade no solo conforme relata Salomão (2009). Já a Silotec 20 não apresentou variação entre as camadas de solo.

Tabela 24 - Teores de fósforo (mg dm^{-3}) em função das variedades e camadas de solo amostradas

Variedades	Camadas (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
BRS 511	34,51 A a	8,01 A b	7,94 A b
CVSW80007	22,01 B a	9,07 A b	7,01 A b
Silotec 20	15,77 B a	8,93 A a	6,05 A a
DMS	10,47		

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.5.6 Alumínio

Notou-se que a calagem promoveu a neutralização total dos teores de alumínio (Al) na camada de 0-0,10 m para todas as variedades avaliadas (Tabela 25). Mesmo nas demais camadas a concentração de Al foi baixa. O calcário corrigiu a acidez promovida pelo alumínio e, o efeito residual foi notado até o término do ciclo da cultura. Mota Neto et al. (2017) também observaram este fato. Conforme relata Malavolta (2006) o Ca translocado para camadas subsuperficiais desloca o Al do complexo sortivo, diminuindo sua saturação. Na camada de 0,20-0,40 m percebeu-se diferença entre variedades, no entanto, o teor de Al foi baixo ($0,03 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$). Somente nas parcelas cultivadas com Silotec 20 ocorreu diferença entre as camadas de solo.

Tabela 25 - Teores de alumínio ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) em função das variedades e camadas amostradas de solo amostradas

Variedades	Camadas (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
BRS 511	0,00 A a	0,01 A a	0,01 B a
CVSW80007	0,00 A a	0,00 A a	0,01 B a

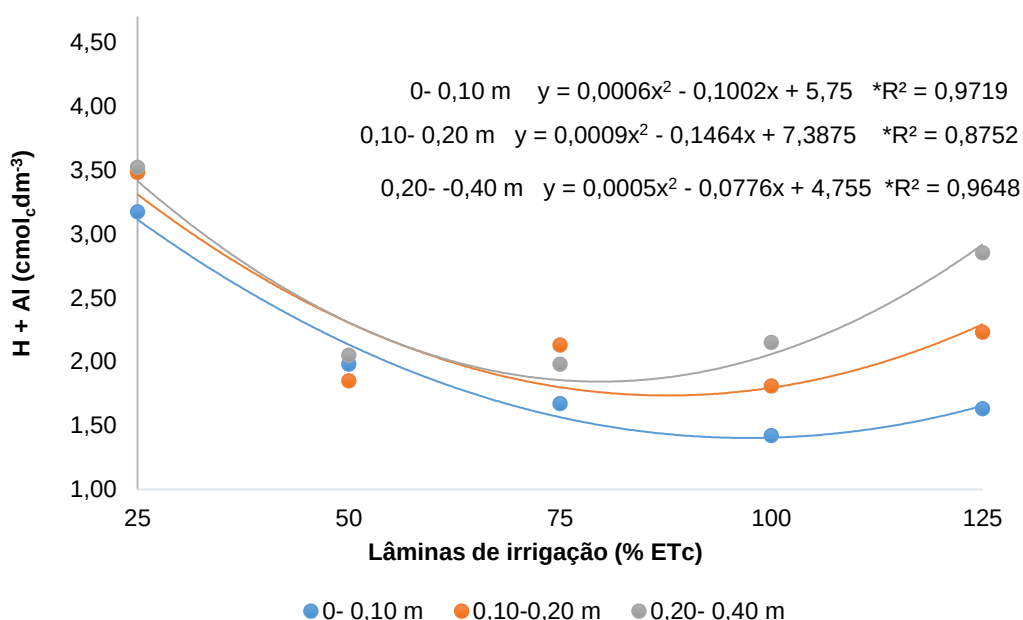
Silotec 20	0,00 A b	0,01 A b	0,03 A a
DMS	0,02		

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.5.7 Acidez potencial

A acidez potencial (H+Al) apresentou interação significativa entre lâminas e camadas de solo. Observou-se resposta quadrática a 1% de significância em todas camadas (Figura 18). Os valores na camada de 0-0,10 m oscilaram de 3,17 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ a 1,63 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (lâminas de 25% a 125% da ETc), no entanto, o teor mínimo foi de 1,58 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ atingido com a lâmina correspondente a 83,5 % da ETc. As lâminas estimadas de 81,35% e 77,6 % da ETc nas camadas 0,10- 0,20 m e 0,20-0,40 m resultaram em valores mínimos desses elementos no solo, sendo, respectivamente, 1,44 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e 1,63 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$.

Figura 18 – Teores de H + Al sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



Os valores de H + Al apresentaram variação significativa entre as camadas de solo para as lâminas de 75% a 125% da ETc (Tabela 26). Na camada de 0-0,10 m observou-se menores teores de H+Al. Em áreas de mangueira irrigada Cardoso

(2014) também obteve menores concentrações de H+Al nas camadas de 0-0,10 m e de 0,10- 0,20 m.

Com o aumento da disponibilidade de água e a profundidade das camadas de solo houve maiores teores de H+Al, comportamento similar foi percebido Portugal et al. (2010), em área de laranjeiras. A acidez potencial, conforme os dados expostos na Tabela 26, foi classificada de acordo com a CFSG (1988) como média ($2,51 - 5,00 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) em todas as camadas de solo onde se aplicou a lâmina de 25% da ETc e na camada de 0,20m- 0,40m com a lâmina de 125% da ETc; e baixa ($1,01 - 2,50 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) nas demais lâminas e interações com as camadas de solo amostradas.

Tabela 26 -Teores de hidrogênio e alumínio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação

Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	3,17 a	1,97 a	1,67 b	1,42 b	1,63 c
0,10-0,20	3,48 a	1,85 a	2,13 a	1,82 a	2,23 b
0,20-0,40	3,52 a	2,05 a	1,98 a	2,15 a	2,85 a
DMS	0,39				

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

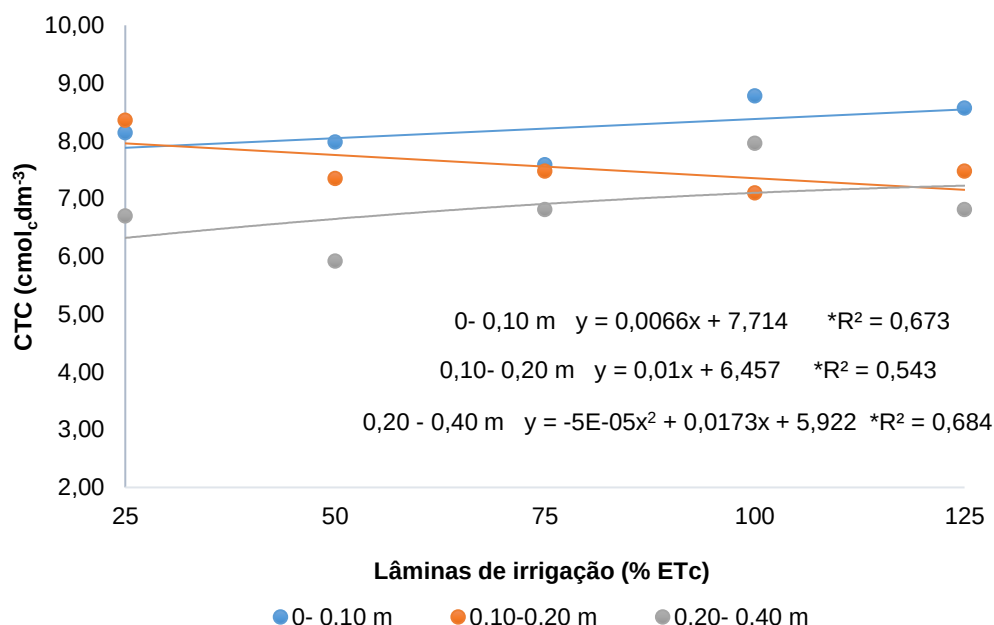
4.5.8 Capacidade de troca catiônica

A capacidade de troca catiônica mostrou resposta linear ($p < 0,01$) para as camadas de 0- 0,10 e 0,10- 0,20 m (Figura 19). Para a camada de 0-0,10 m a CTC foi maior, concordando com Có Junior (2011), que cita que esta característica química é mais elevada na camada superficial. A aplicação de uma unidade, em mm de água, resultou num incremento de $0,0066 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na CTC.

Maiores valores de CTC na camada de 0,10-0,20 m foram observados para a lâmina de 25% de reposição da ETc ($8,37 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e, redução com o incremento de água no solo, provavelmente, porque a diluição dos nutrientes contribuiu para a absorção pela cultura, como também para a lixiviação promovida pelas lâminas maiores. Cerri et al. (1991) obtiveram aumento na CTC com o aprofundamento das camadas em função da lixiviação de cátions. Para a camada de 0,20-0,40 m houve resposta quadrática ($p < 0,01$), nesta 68,4% da variação dos valores de CTC ocorreram em função das lâminas aplicadas. Notou-se que a CTC aumentou com o acréscimo

de água no solo, porém, com lâmina maior que 100% da ETc houve decréscimo nos valores.

Figura 19 – Capacidade de troca catiônica sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



A CTC, de acordo com a Tabela 27, apresentou variação entre as camadas em todas as lâminas, exceto para a de 75% da ETc. Nas lâminas de 25% e 50% da ETc as camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m mostraram CTC elevada devido à contribuição de H+Al, que participam do complexo sortivo, enquanto na camada de 0,20 -0,40 m houve diminuição da CTC.

Tabela 27- Capacidade de troca catiônica (cmol_cdm⁻³) em função das camadas amostradas e lâminas de irrigação

Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	8,14 a	7,98 a	7,59 a	8,78 a	8,57 a
0,10-0,20	8,36 a	7,35 a	7,48 a	7,10 b	7,48 b
0,20-0,40	6,70 b	6,42 b	6,81 a	7,96 b	6,81 b
DMS	0,89				

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

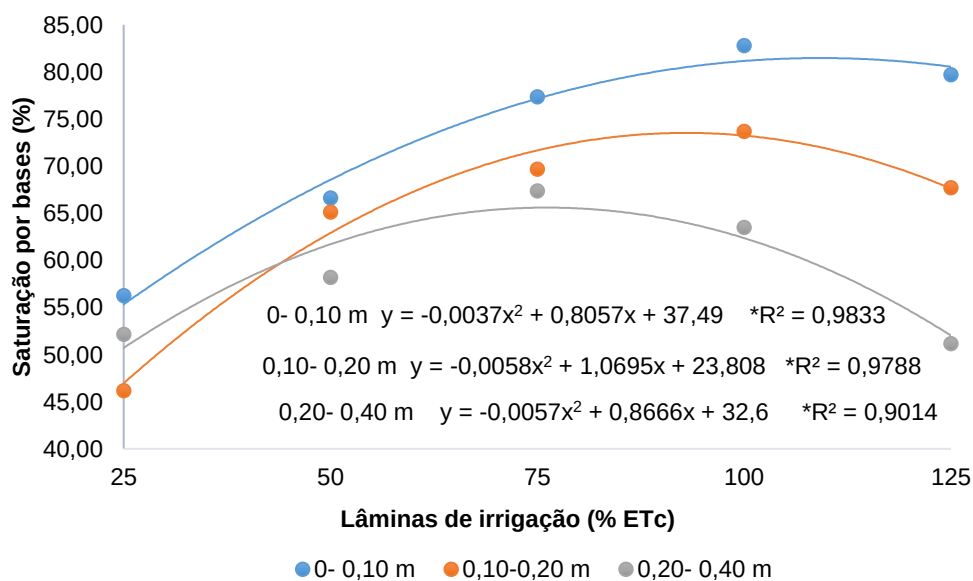
O maior valor da CTC foi observado na superfície (0-0,10 m) para as lâminas de 100% e 125% da ETc (Tabela 27), uma vez que os maiores teores de Ca, Mg e MO,

ocorreram nessa camada e nessas lâminas e têm influência direta no valor de CTC. De forma geral, em todas as lâminas avaliadas, notou-se redução da CTC com a profundidade da camada amostrada, devido à redução das bases bem como redução do teor de MO, resultados semelhantes foram encontrados por Có Junior (2011); Falleiro et al. (2003) e Rheinheimer et al. (1998).

4.5.9 Saturação por bases

A saturação por bases (V) é uma propriedade diretamente dependente da calagem e da disponibilidade de água no solo (GUARÇONI, 2017). Na Figura 20 verificou-se resposta quadrática ($p < 0,01$) para todas as camadas de solo em função das lâminas de irrigação. Em se tratando da camada 0-0,10 m (R^2 98,33%) a saturação por bases máxima foi 81,35% com a lâmina de 108,88% da ETc. Nas camadas de 0,10-0,20m e de 0,20-0,40 m percebeu-se que as lâminas estimadas equivalentes a 92,20% e 76,02% da ETc promoveram saturações máximas de 73,11% e 65,54%. Notou-se que lâminas maiores ocasionaram decréscimo no valor desse atributo. Na camada superficial a lâmina máxima foi maior porque houve maior concentração de bases sendo necessária uma maior quantidade de água para a solubilização.

Figura 20 – Saturação por bases sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



A saturação por bases (V) variou significativamente em todas as camadas de solo para cada lâmina de irrigação (Tabela 28). Observou-se que os valores obtidos na camada de 0-0,10 m foram, substancialmente, maiores aos apresentados pela camada de 0,20- 0,40 m. Justamente na camada superficial observou-se maiores teores de bases como Ca, Mg e K, além do mais, a calagem foi efetuada na camada de 0- 0,20 m.

A partir desses resultados pode-se inferir que o aumento das lâminas de irrigação ocasionou maiores valores de V devido à água no solo contribuir para estimular a reação do calcário aplicado. Segundo a classificação desenvolvida pela CFSG (1988), os valores de V remanescentes no solo, onde conduziu-se a pesquisa foram considerados altos (40 a 60 %) a muito altos (> 60 %) conforme resultados expostos na Tabela 28.

Tabela 28- Saturação por bases (%) em função das camadas de solo amostradas e lâminas de irrigação

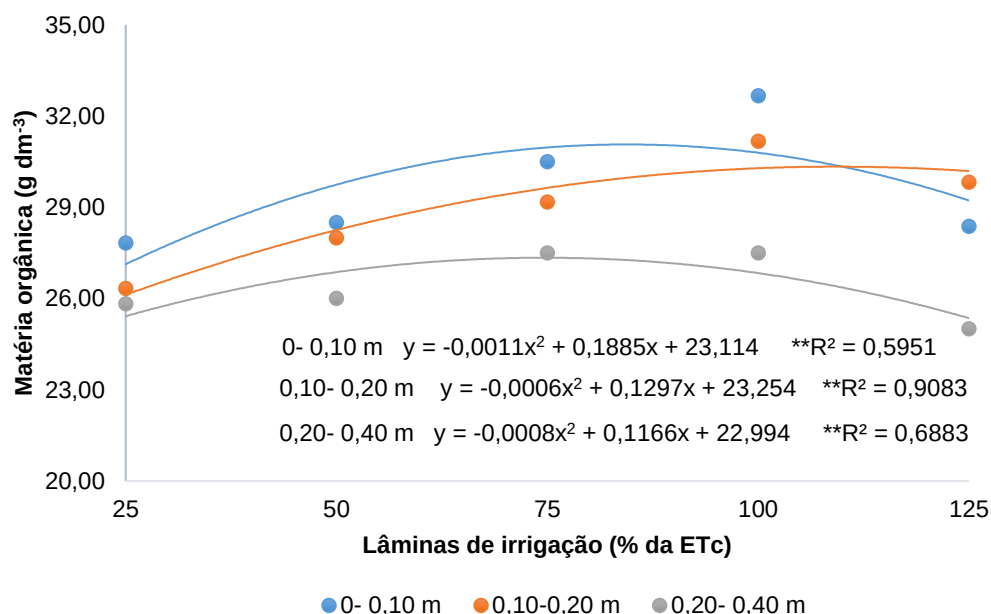
Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	56,25 a	66,63 a	77,36 a	82,00 a	79,68 a
0,10-0,20	52,16 ab	65,51e a	68,66 b	73,70 b	67,72 b
0,20-0,40	46,18 b	58,21 b	67,37 b	63,48 c	51,16 c
DMS	6,14				

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.5.10 Matéria orgânica

Os dados de matéria orgânica (MO) em função das lâminas de irrigação em todas as camadas de solo amostradas ajustaram-se à equação quadrática ($p < 0,05$) conforme consta na Figura 21. O teor máximo de MO na camada de 0-0,10 m foi de 31,19 g dm⁻³ com a lâmina de 85,68% da ETc. Já na camada 0,10-0,20 m a lâmina ótima de 108,08% da ETc resultou em 30,26 g dm⁻³ e, na de 0,20– 0,40 m o maior teor foi 27,24 g dm⁻³ com a lâmina equivalente a 72,88% da ETc.

Figura 21 – Teores de matéria orgânica sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



Comparando-se os teores de MO entre as camadas de solo para cada lâmina de irrigação (Tabela 29) observou-se que até a lâmina 75% da ETc não houve variação significativa. Porém, nas lâminas equivalentes a 100% e 125 % da ETc a diferença foi notada, e os maiores teores de MO ocorreram para as camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, concordando com os resultados encontrados por Amaral et al. (2011). O aumento nas lâminas de irrigação ocasionou maior acúmulo de MO nas camadas citadas anteriormente porque, segundo Amaral et al. (2015), acréscimos no volume de água resultam em queda na atividade microbiológica, devido à redução da porosidade livre de água proporcionando maiores concentrações de MO no solo. No geral, os teores de MO remanescentes no solo foram considerados médios (20,1 – 40,0 g dm⁻³) conforme CFSG (1988).

Tabela 29 - Teores de matéria orgânica (g dm⁻³) em função das camadas de solo amostradas e lâminas de irrigação

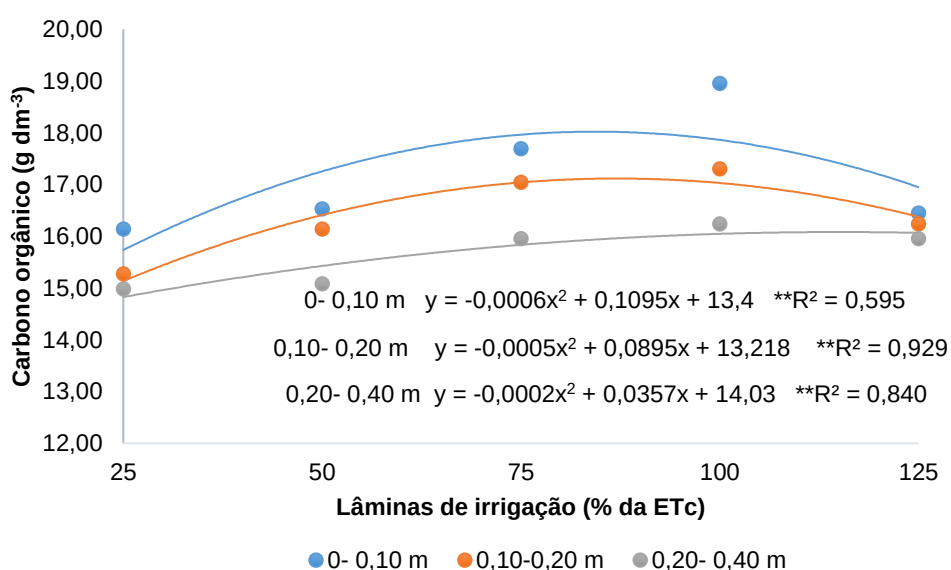
Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	27,83 a	28,50 a	30,50 a	32,67 a	28,37 a
0,10-0,20	26,33 a	28,00 a	29,17 a	31,70 a	29,83 a
0,20-0,40	25,87 a	26,00 a	27,50 a	27,50 b	25,00 b
DMS	3,17				

DMS- diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.5.11 Carbono orgânico

Os teores de carbono orgânico (CO) nas camadas de solo mostraram comportamento semelhante ao da MO. Ou seja, em todas as camadas de solo houve ajuste quadrático ($p < 0,05$) (Figura 22). Nas camadas de 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m os teores máximos de CO foram $18,40 \text{ g dm}^{-3}$, $17,22 \text{ g dm}^{-3}$, $18,81 \text{ g dm}^{-3}$ alcançados com as máximas lâminas 91,25%; 89,5 % e 89,25 % da reposição de ETc. O incremento de água no solo acelerou a mineralização do material orgânico disponibilizando o CO até essas lâminas máximas, após estas ocorreu diminuição da atividade microbiológica devido à redução da porosidade livre de água conforme citam Amaral et al. (2015).

Figura 22 – Teores de carbono orgânico sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



Observou-se na Tabela 30 que para as camadas de solo em função das lâminas de reposição 25 % e 50% da ETc não houve diferença significativa, porém, a partir da lâmina 75% a diferença ocorreu. Os maiores teores de CO foram encontrados nas camadas de 0- 0,10m e de 0,10- 0,20 m para as lâminas de 75% e 125% da ETc e, na camada de 0-0,10 m, para a lâmina de 100% da ETc Loss et al. (2011) citam que teores maiores de CO são observados em camadas superficiais, devido à influência

dos restos vegetais depositados na superfície do solo. Já os menores ocorreram na camada de 0,20-0,40 m, pois, com o aumento na profundidade das camadas amostradas houve redução deste elemento.

Tabela 30- Teores de carbono orgânico (g dm^{-3}) em função das camadas de solo amostradas e lâminas de irrigação

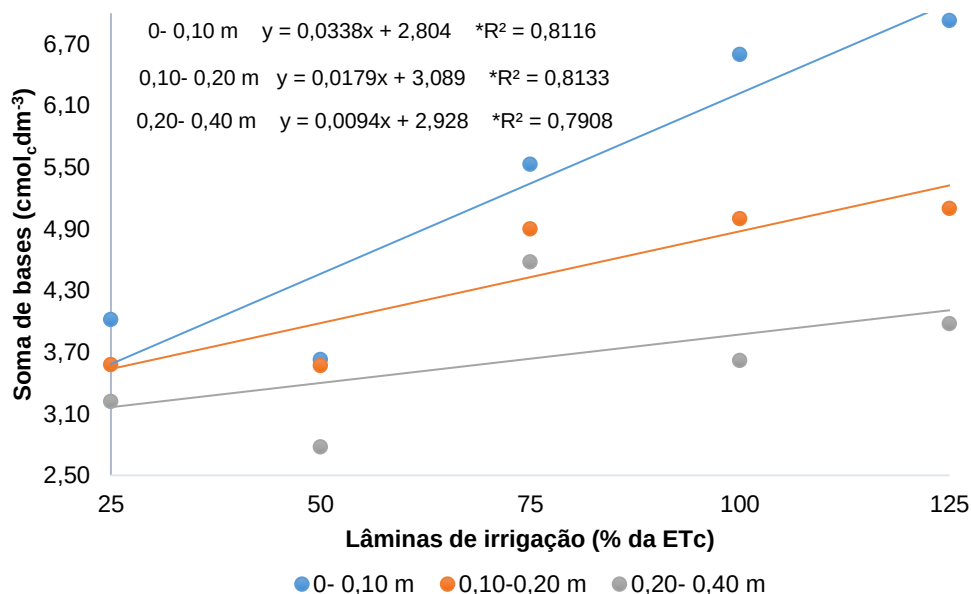
Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	16,53 a	16,14 a	17,69 a	18,95 a	16,46 a
0,10-0,20	17,04 a	14,98 a	18,08 a	16,24 b	17,30 a
0,20-0,40	15,95 a	15,27 a	15,95 b	15,08 b	14,19 b
DMS	1,87				

DMS- Diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.5.12 Soma de bases

A soma de bases (SB) é representada pela somatória de cátions como Ca, Mg, K e sódio (Na) (ROQUIM, 2010; SILVA, 2014). Na Figura 23 têm-se a representação e as equações da interação entre as camadas de solo e as lâminas. Em todas as camadas ocorreu resposta linear ($p < 0,01$), ao passo que se elevaram as lâminas de irrigação. No complexo sortivo a SB das camadas aumentou de forma proporcional, sendo que os menores e maiores valores foram notados nas lâminas 25% e 125% da ETc. Essa resposta foi semelhante às obtidas para os nutrientes Ca e Mg como era de se esperar.

Figura 23 – Soma de bases sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



Na Tabela 31 têm-se a comparação entre as camadas em cada lâmina testada. Não houve variação significativa até a lâmina de 75 % da ETc. Já para as lâminas de 100% e 125% da ETc essa variação ocorreu, e os teores de bases foram superiores na camada de 0-0,10 m, resultados que corroboram com os reportados por Amaral et al. (2011) em áreas irrigadas após cultivo de feijão, com maior SB na mesma camada. Para as lâminas 100% e 125% da ETc houve redução gradativa nas camadas inferiores, devido à absorção de bases pela cultura com aumento da disponibilidade de água no solo.

Tabela 31 - Soma de bases (cmol_c dm⁻³) em função das camadas de solo amostradas e lâminas de irrigação

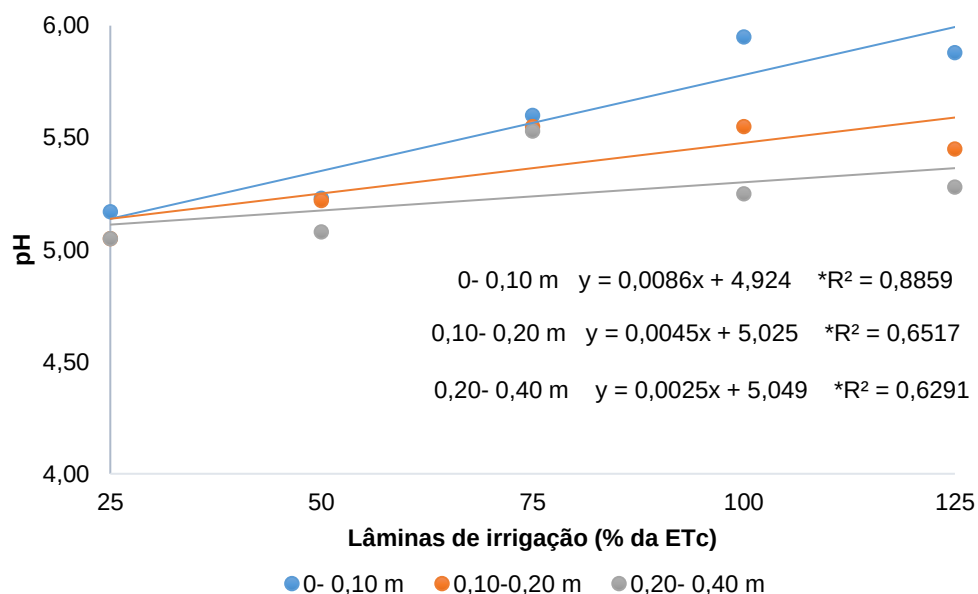
Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	4,02 a	3,63 a	5,53 a	6,60 a	6,93 a
0,10-0,20	3,58 a	3,57 a	4,90 a	5,00 b	5,10 b
0,20-0,40	3,22 a	2,78 a	4,58 a	3,62 c	3,98 b
DMS	0,97				

DMS- Diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.5.13 pH do solo

Os valores de pH do solo nas camadas e lâminas de irrigação encontram-se na Figura 24 e na Tabela 32. Notou-se que os valores dessa propriedade foram influenciados em cada camada amostrada pelas lâminas de irrigação. Na Figura 24 encontram-se expressas as equações de regressão, podendo-se verificar que para todas camadas houve ajuste linear, e os menores valores de pH ocorreram na lâmina equivalente a 25% da ETc. À medida que houve incrementos na quantidade de água no solo o pH elevou-se. Este fato ocorreu porque a reação do corretivo de acidez se processa na presença de água (SOUZA, 2007). Santos et al. (2016) estudaram o efeito de lâminas sob o pH de um Latossolo e observaram comportamento similar com a estabilização do pH a partir da lâmina de 150 mm.

Figura 24 – Valores de pH sob diferentes camadas do solo e lâminas de irrigação



Observou-se na Tabela 32 que as diferenças significativas entre as camadas amostradas se deram para as lâminas de 100 % e 125% da ETc, com maiores valores de pH na primeira camada (0-0,10 m). Verificou-se decréscimo nos valores deste atributo com aumento da profundidade amostrada. Mesmo após o término do ciclo da cultura houve o efeito residual do corretivo de acidez no solo, resultando em parcelas

mediamente ácidas (pH variando de 5,0 a 5,5) e fracamente ácidas (pH de 5,6 a 6,9) conforme a classificação da CFSG (1988).

Tabela 32- Valores de pH do solo em função das camadas de solo amostradas e lâminas de irrigação

Camadas (m)	Lâminas				
	25	50	75	100	125
0-0,10	5,17 a	5,23 a	5,60 a	5,95 a	5,88 a
0,10-0,20	5,05 a	5,22 a	5,55 a	5,55 b	5,45 b
0,20-0,40	5,05 a	5,08 a	5,53 a	5,25 c	5,28 b
DMS	0,20				

DMS- Diferença mínima significativa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 1% de significância.

4.6 Análise física do solo

As propriedades físicas não foram afetadas pelas variedades, lâminas de irrigação bem como pelas interações entre as fontes de variação conforme consta da Tabela 33. Observou-se variação significativa a 1 % para o fator camadas de solo amostradas nas seguintes propriedades: densidade do solo (Ds) densidade de partículas (Dp), porosidade total (Pt), capacidade de campo (CC) e condutividade hidráulica (CH). Notou-se que as propriedades estudadas apresentaram baixa variabilidade, fato que pode ser constatado pelos coeficientes de variação.

Tabela 33 - Resumo da análise de variância para as propriedades físicas densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), capacidade de campo (CC), condutividade hidráulica (CH), argila dispersa (AD) e grau de floculação (GF) em função de lâminas, variedades e camadas

FV	GL	Quadrados Médios						
		Ds	Dp	Pt	CC	CH	AD	GF
		kg dm ⁻³	kg dm ⁻³	%	%	cm dia ⁻¹	%	%
Lâmina	4	0,079 ^{ns}	0,240 ^{ns}	275,64 ^{ns}	228,98 ^{ns}	0,294 ^{ns}	5,712 ^{ns}	16,329 ^{ns}
Variedade	2	0,014 ^{ns}	0,021 ^{ns}	2,74 ^{ns}	2,232 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,102 ^{ns}	3,494 ^{ns}
Bloco	3	0,001 ^{ns}	0,012 ^{ns}	3,82 ^{ns}	3,400 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,280 ^{ns}	8,266 ^{ns}
Lâm. x Var.	8	0,010 ^{ns}	0,011 ^{ns}	30,09 ^{ns}	28,083 ^{ns}	0,011 ^{ns}	3,55 ^{ns}	6,171 ^{ns}
Erro 1	32	0,008	0,022	18,05	16,56	0,018	0,167	4,262
Cam.	2	0,113*	0,231*	54,91 ^{ns}	52,803*	0,124*	6,431 ^{ns}	38,349 ^{ns}
Lâm. x Cam.	8	0,004 ^{ns}	0,052 ^{ns}	13,58 ^{ns}	11,421 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,144 ^{ns}	10,252 ^{ns}
Var. x Cam.	4	0,010 ^{ns}	0,017 ^{ns}	28,92 ^{ns}	26,092 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,993 ^{ns}	7,562 ^{ns}

Var x Lâm. x	16	0,005 ^{ns}	0,032 ^{ns}	25,48 ^{ns}	23,598 ^{ns}	0,035 ^{ns}	0,254 ^{ns}	11,801 ^{ns}
Cam.								
Erro 2	100	0,008	0,021	18,42	16,410	0,018	0,147	4,670
CV 1 (%)		7,18	5,70	8,14	9,68	4,98	6,87	7,53
CV 2 (%)		7,12	5,52	8,23	9,22	4,73	6,23	7,05

GL- graus de liberdade. * e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} -não significativo. CV- Coeficiente de variação.

Verificou-se através da Tabela 34 que os menores valores de Ds ocorreram nas camadas de 0 - 0,10 m (1,21 g cm⁻³) e 0,10 - 0,20 m (1,24 g cm⁻³). Este fato se deve à maior quantidade de MO nestas camadas, que favorece essa redução. Já o maior valor de Ds ocorreu na camada de 0,20 - 0,40 m, isso porque há uma tendência de aumento com a profundidade. Esses valores de Ds foram considerados adequados ao crescimento das raízes. Sá; Júnior (2005) citam que para dados superiores a 1,60 g cm⁻³ a Ds já é considerada como crítica ao desenvolvimento. Porém Klein; Câmara (2007) consideram valores a partir de 1,40 g cm⁻³ prejudiciais ao desenvolvimento das culturas. Dessa forma, os valores obtidos não foram designados como críticos.

A densidade de partículas (Dp) é uma propriedade a qual, não é afetada pelo manejo e sim pela constituição mineralógica e teor de MO de um solo (ALVES et al., 2007; BAYER; MIELNICZUK, 2008). Essa propriedade (Tabela 34) foi menor nas camadas de 0 - 0,10 m (2,57 g cm⁻³) e 0,10 - 0,20 m (2,60 g cm⁻³), pois, nestas camadas observou-se os maiores teores de MO, fato que contribuiu para diminuição nos valores desta propriedade. Lima et al. (2013) comentam que a MO presente em camadas superficiais reduz o valor da Dp. Os valores de Dp obtidos estão dentro da média de solos brasileiros pois, Alves et al. (2007) e Lima et al. (2013) citam um valor médio de 2,65 g cm⁻³.

Valores elevados de Pt ocorreram nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m comportamento inverso ao da Ds, porém, estão na faixa considerada ideal. Camargo e Alleoni (1997), citam que um solo deve possuir 50% do seu volume total ocupado por poros. Há relatos que em solos argilosos a Pt varia de 40 a 60 %. Notou-se que para essa propriedade houve redução com o aumento da profundidade da camada em função da pressão de camadas superiores sobre as suprajacentes.

A CC é a quantidade máxima de água que o solo pode reter contra a ação da gravidade (SILVA et al., 2012). Esses autores reportam que a CC de solos argilosos oscila de 25 % a 35%. Os valores obtidos (Tabela 34) encontram-se nesta faixa e a

CC foi mais elevada nas camadas superficiais, pois, esta também é uma propriedade influenciada pela MO e porosidade.

A CH expressa a intensidade com que a água se desloca no perfil (MARQUES et al., 2008). Almeida et al. (2017) consideram a CH uma propriedade importante pois, mede a transmissão de água através do sistema poroso, e está relacionada com a porosidade total. Já Rizzardi et al. (2014) comentam que a CH é a propriedade que mais influencia a dinâmica da água nos solos. Na Tabela 34 observa-se que a condutividade foi maior na camada de 0-0,10 m ($2,50 \text{ cm h}^{-1}$) e reduziu com o aprofundamento das camadas, mesmo comportamento notado Marciano (1999).

Tabela 34- Valores de densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), capacidade de campo (CC) e condutividade hidráulica (CH) em função das camadas de solo amostradas

Camadas (m)	Ds g cm^{-3}	Dp g cm^{-3}	Pt %	CC %	CH cm h^{-1}
0-0,10	1,21 b	2,57 b	53,28 a	30,65 a	2,50a
0,10-0,20	1,24 b	2,60 b	51,69 a	28,86 a	1,56 b
0,20-0,40	1,30 a	2,69 a	49,50 b	25,04 b	1,29 c
DMS	0,039	0,063	1,87	3,52	0,047

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

5 CONCLUSÕES

As lâminas de irrigação exerceram influência significativa para as características agronômicas e tecnológicas nas três variedades utilizadas.

A variedade BRS 511 adaptou-se melhor às condições edafoclimáticas locais com reflexo em maior AP, DC, NF, NE, PF, PC, MVPA, RC, PE e teor de SST e menor PBU e TFI.

Para as variedades de sorgo em cada lâmina de irrigação houve variação das características a partir de 75% de reposição da evapotranspiração de culturas com ajustes linear e quadrático.

A EUA em todas variedades e lâminas apresentou resposta linear decrescente, sendo o maior valor obtido para a lâmina de 25% da ETc.

A variedade BRS 511 foi a mais recomendada para as condições edafoclimáticas da região avaliada e a lâmina mais indicada foi a equivalente a 100% da ETc.

As lâminas de irrigação exerceram influência sobre a dinâmica das propriedades químicas do solo com maiores teores dos nutrientes na camada de 0-0,10 m e com o aumento da disponibilidade hídrica; para as lâminas de 100 e 125 % da ETc houve aumento dos teores de nutrientes, de MO e de CO no solo; entre as variedades e as camadas de solo houve variação para o K e Al.

As propriedades físicas não foram afetadas pelo cultivo das variedades e lâminas de irrigação. Houve variação entre as camadas amostradas para Ds, Dp, Pt, CC e CH. Os menores valores de Ds, Dp e os maiores de Pt e CC ocorreram nas camadas de 0-0,10m e 0,10-0,20 m. A CH do solo saturado foi maior na camada de 0-0,10 m.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Características agronômicas e bromatológicas dos componentes vegetativos de genótipos de sorgo forrageiro em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 2, p. 164-182, 2013.

ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Sorgo Sacarino em Diferentes Arranjos de Plantas e Localidades de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 1, p. 69-85, 2010.

ALMEIDA, K. S. S. A. de, et al. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em Latossolo Amarelo distrocoeso, no município de Cruz das Almas. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 259-274, abril-junho, 2017.

ALMEIDA, W. F. **Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na formação do bulbo molhado e produtividade da alface americana**. 2012. 79 f. Tese (Doutorado em Engenharia de água e Solo) –Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 31, p. 617-625, 2007.

AMARAL, F. H. C. et al. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Amarelo cultivado com feijão-caupi sob diferentes sistemas de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.3, p.467-473, 2011.

AMARAL, U. do, et al. Matéria seca, conteúdo de carbono e nitrogênio em cultivo de abacaxizeiro ‘pérola’ irrigado. **Interciência**, Caracas, v. 40, n. 9, p. 639-643, 2015.

ANDRADE, A. D. et al. Desempenho de métodos de cálculo do coeficiente de tanque para a estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 119-130, 2016.

AQUINO, L. A de. et al. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 355-361, 2012.

ASSIS, C. P. et al. Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a semi-arid region of Northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 138, p. 74-82, 2010.

BANDEIRA, A. H. et al. Biometria de genótipos de sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura na Depressão Central do RS. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31, 2016, Bento Gonçalves. **Milho e Sorgo: inovações mercado e segurança alimentar**: anais... Bento Gonçalves, 2016. 1 CD-ROM.

BARCELOS, C.A. **Aproveitamento das frações sacarínea, amilácea e lignocelulósica do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para a produção de bioetanol**. 334 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, pg 98. Rio de Janeiro, 2012.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo em ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BELCHIOR, I. B. et al. Propriedades físico-hídricas do solo cultivado com eucalipto irrigado. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 14, n. 1, p. 18-27, 2016.

BERNARDINO, K. da C. et al. Caracterização de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol de primeira e segunda geração. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. 1 CD-ROM.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UVF, 2008. 625 p.

BILHALVA, N. dos S. et al. Avaliação biométrica de genótipos de sorgo sacarino no município de Alegrete, RS. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 8, 2016, Alegrete, **Anais...** Alegrete – Universidade Federal do Pampa, 2016. 1 CD-ROM.

BOLONHEZI, D.; CAMILO, E. H.; GARCIA, J. C. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de sorgo sacarino cultivados em Ribeirão Preto/SP. In: WORKSHOP AGROENERGIA, 7, 2013, Ribeirão Preto, **Anais...** Ribeirão Preto, 2013. 1 CD-ROM.

BORGES, I. D. et al. Caracterização do caldo extraído dos colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 (*Sorghum bicolor* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28, 2010, Goiânia, **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. 1 CD-ROM.

BORIN, J. B. M. **Alterações da solução do solo e resposta do arroz irrigado ao manejo da irrigação e da adubação nitrogenada**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Ciências do solo)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BRAGA, T.G. et al. Concentração dos teores de fósforo no caldo de sorgo sacarino durante o período de maturação. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 9., 2014, Rio de Janeiro. **Anais...**, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Universidade Severino Sombra Vassouras, 2014.

BUSKE, T. C. **Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos**. Santa Maria – RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2013. 67 f.

CAIXETA, S. P. **Produção e valor nutritivo de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de água e doses de potássio, na região do Alto Paranaíba, MG**. 2013. 66 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CÂMARA, T. M. M.; MEDEIROS, D. A.; SILVA, H. E. Características tecnológicas do caldo de sorgo sacarino em função da população de plantas e espaçamento entre linhas In: WORKSHOP AGROENERGIA, 10., 2016, Ribeirão Preto. Matérias primas: **anais**. Ribeirão Preto: IAC, 2016.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CANAVIALIS. **Híbridos de sorgo sacarino**, 2015. Disponível em: <<http://www.canavialis.com.br/produtos/sorgo-sacarino/hibridossorgo-sacarino.aspx>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

CARVALHO, I. R. et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 17; p. 969, 2013.

CAVALIERI, K. M. V. et al. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1541-1549, 2011.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um Latossolo Vermelho-Escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cahiers Orstom**, Série Pédologie, v. 26, p. 37-50, 1991.

CFSG - COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás: 5ª aproximação**. Goiânia: UFG: EMGOPA, 1988. 101 p. (Informativo Técnico, 1).

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of Califórnia, 1942. 124 p.

CÓ JUNIOR, C. **Matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e acidez potencial no solo com dezoito cultivares de cana-de-açúcar**. 2011. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2011.

COLLARES, D. G. Sorgo sacarino: tecnologia agrônomo e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**, Brasília, n. 3, p. 14-52, 2011.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. Piracicaba-SP, 112 p., 2006.

COSTA, F. P. et al. **Nota sobre métodos de colheita do sorgo sacarino para produção de álcool**. Campo Grande: CNPGC, 1981. 18p. (Boletim de Pesquisa n. 1).

CUNHA, P. C. R. da, et al. Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 735–742, 2013.

DALVI, U. S. et al. Effect of Staggered Planting on Stalk Yield, Sugar Content and Ethanol Yield of Sweet Sorghum for Increasing Harvest Window. **Sugar Technology**. Elsevier, Amsterdam, v. 14, n. 2, p.144–147, 2012.

DAMASCENO, C. M. B. et al. Caracterização bioquímica de genótipos de sorgo quanto ao teor de lignina e análise molecular de rotas metabólicas visando à produção de etanol de segunda geração. In: XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. CD-ROM.

DANTAS NETO, J. et al. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283–288, 2006.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Doses de fósforo e irrigação na nutrição foliar do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1235–1240, 2014.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARELLA, R. A. C. Sistema agroindustrial do sorgo sacarino no Brasil e a participação público-privada: oportunidades, perspectivas e desafios. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, II Série, 76 p. 2012.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agronômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**, Brasília, n. 3, p. 14-52, 2011.

DURÃES, N. N. L. **Heterose em sorgo sacarino**. 2014. 96 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Embrapa. Brasília, 2013. 353 p.

EMYGDIO, B. M. et al. **Avaliação de métodos de colheita e de extração de caldo em cultivares de sorgo sacarino**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 4p. (Comunicado Técnico n. 296).

EMYGDIO, B. M. et al. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino visando à produção de etanol em solos hidromórficos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 17, p. 53, 2011.

ESTEVEES, B. dos S. et al. **Irrigação por gotejamento**. Niterói: Rio Rural, 2012. Disponível em: <http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/32_Irrigacao_por_gotejamento.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2015.

FAGUNDES, T. et al. Divergência genética entre genótipos de sorgo sacarino baseado em caracteres agroindustriais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013, Uberlândia. Variedade melhorada: a força da nossa agricultura: **Anais...** Viçosa, MG: SBMP, p. 3171-3174. 2013.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FERNANDES, P. G. et al. Influência do espaçamento e da população de plantas de sorgo sacarino em diferentes épocas semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 975-981, 2014.

FERNANDES, P. G. **Avaliação agrônômica de dois cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em Sete Lagoas – MG**. 2013. 89 p. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologias Agropecuárias/Produção Vegetal). Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2013.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar**. 3º ed. Piracicaba: STAB, 2011.416p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, O. E. **Produção de etanol a partir de sorgo sacarino com tratamento Enzimático**. 2015. 79 p. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2015.

FOLEGATTI, M. V.; BLANCO, F. F.; SILVA, L. D. B. **Manejo da irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP/LER, 2003, 123 p.

GIACOMINI, I. et al. Uso Potencial de Sorgo Sacarino para a Produção de Etanol no estado do Tocantins. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 5, n. 3, p.73-81, dez. 2013.

GHELLER, A. C. A. **Manual de método alternativo para medição de produtividade**. Araras: UFSCar- CCA-DBV. 1999, 7 p.

GONÇALVES, B. C. da C. et al. Efeitos da adubação nitrogenada no sorgo Sacarino BRS511. **Ciência & Tecnologia**, Jaboticabal, v. 8, 2016. Suplemento.

GUARÇONI, A. Saturação por bases para o cafeeiro baseada no pH do solo e no suprimento de Ca e Mg. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 327 - 336, jul./set. 2017.

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. 2003. 298p. Tese (Doutorado) - Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. S.1: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Lavras, v. 31, p. 221-227, 2007.

KLINK, U. **Melhoramento genético do sorgo para a produção de etanol**. Pelotas - RS, 2010. Disponível em:
<http://www.cpact.embrapa.br/eventos/2010/simposio_agroenergia/palestras/11_quarta/Manha/Urubatan%20Klink>. Acesso em: 09 dez. 2017.

KOLLING, D. F. **Determinação da localização de uma planta multi-produto no Estado do Mato Grosso com base na eficiência da produção de etanol**. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios)- Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

KUNZ, J. et al. Simulação do efeito da temperatura e do fotoperíodo na fenologia da cultura da soja. In: II INOVAGRI International Meeting, 2014. **Anais...** Fortaleza Brasil. CD-ROM.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1999. 497p.

LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C. de; BARBOSA, R. S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v. 9, n. 1, p. 117-124, 2013.

LIMA, J. M. P. et al. **Sorgo: plante certo para colher muito**. EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. Natal (RN), Brasil 2010. Boletim Técnico.

LIMA, J. R. S. et al. Comparação da sonda de nêutrons e de sensores tipo TDR para a determinação dos componentes do balanço hídrico no solo e evapotranspiração do feijão caupi. **Agropecuária Técnica**, Areia, PB, v. 27, n. 1, p. 21-29, 2006.

LIMA, M. E. et al. Desempenho da alface em cultivo orgânico com e sem cobertura morta e diferentes lâminas d'água. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 33, p. 1503-1510, 2009.

LOPES, A. da S. et al. Avaliação do coeficiente do Tanque Classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência em Aquidauana-MS. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 1 - 11, 2012.

LOSS, A. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia**, v. 29, p. 11-19, 2011.

LOURENÇO, M. E. V. et al. Potencialidades do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção sustentável de bioetanol no Alentejo. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 30, n. 1, p. 103-110, 2010.

MAGALHÃES, P. C.; Durães, F. O. M.; Rodrigues, J.A.S. (2014) **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas - MG: Embrapa Milho e Sorgo, Boletim técnico-86. 2014. 4p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Ceres. 2006. 638 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. p. 358.

MARCIANO, C. R. **Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo**. 1999. 93p. (Tese de Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1999.

MARQUES, J. D. de O. et al. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 193- 206, 2008.

MARTINS, A. M. **Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol na região central de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) -Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João Del Rei, Sete Lagoas, 2014.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Tensões-limite de água no solo para o cultivo do tomateiro para processamento irrigado por gotejamento.** Embrapa Hortaliças. Brasília, 17 p. 2008.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINS, A. de M. **Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol na região central de Minas Gerais.** 2013. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2013.

MASSON, I dos S. et al. Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 9, p. 1695-1700, 2015.

MASSON, I. dos S. **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar.** 2013. 49 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2013.

MAY, A. et al. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013.36p. (Circular Técnica, 186).

MAY, A. et al. Influência do arranjo de plantas no desempenho produtivo de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), em Sete Lagoas-MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. 1 CD-ROM.

MAY, A. et al. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol sistema BRS1G – Tecnologia qualidade.** Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 120 p. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 139). 2012b.

MAY, A. et al. Cultivares de sorgo para o mercado brasileiro na safra 2011/2012. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, 21. ed. II Série, 2011. 28p. ISSN 1518-4277; 117.

MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

MIRANDA, R. A. Custo de produção e viabilidade econômica de etanol a partir do sorgo sacarino plantado na entressafra da cana-de-açúcar. In: MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol sistema BRS1G: tecnologia qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 139). p. 106-112.

MOREIRA, J. A. A. Manejo da Irrigação do Sorgo Sacarino: Tensão da Água do Solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30, 2014. **Anais...** Salvador: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. 1 CD-ROM

MOREIRA, L. R. et al. Aspectos morfológicos de sorgo sacarino em diferentes disponibilidades de água. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. 1 CD-ROM.

MOREIRA, L. R. **Caracterização morfofisiológica de cultivares de sorgo sacarino em estresse hídrico**. 2011. 75p. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa 2011.

MOREIRA, J. A.; STONE, L. F.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Eficiência de uso de água pela cultura do milho (*Zea mays*) em função da cobertura do solo pela palhada no sistema plantio direto. **Cadernos de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2011.

MOTA NETO, L. V. da. Efeito residual da aplicação de calcário e doses de gesso agrícola. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 6, n. especial seagro, p.13-21, 2017.

MUTTON, M. J. R. et al. Efeitos da época de colheita e das cultivares sobre a composição tecnológica do sorgo sacarino. In: **Anais...** IX Workshop Agroenergia: matérias primas, 9, 2015, Ribeirão Preto, maio de 2015.

NÓBILE, F. O. de. NUNES, H. D. Avaliação da produção de etanol e cogeração de energia pela cultura do sorgo sacarino. **Revista Uniara**, v. 17, n. 1, p. 89-98 julho, 2014.

OLIVEIRA, A. J.; RAMALHO, J. (Coord.). **Plano Nacional de Agroenergia: 2006-2011**. 2 ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 951-960, 2010.

OLIVEIRA, E. C. A. de. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia.

OLIVEIRA, L. C. **Indústria de etanol no Brasil: uma estrutura de mercado em mudança**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) - Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

OLIVEIRA, R. A. et al. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 166-173, 2008.

PARRELLA, R. A. C. Melhoramento genético do sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, n. 3, p. 8-9, 2011.

PARRELLA, R. A. C.; et al. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diversos ambientes visando produção de etanol. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28, 2010, Goiânia, **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. 1 CD-ROM.

PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E. Cultivares. In: MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol sistema BRS1G: tecnologia qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 139). p. 14-22.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 327, p. 1 ed. 2015.

PIVETTA, R. S. **Acúmulo de matéria seca e nutrientes de híbridos de sorgo sacarino em condições de safrinha em Selvíria-MS**. 2014. 51f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

PORTUGAL, A. F. et al. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Lavras, v. 34, p.575-585, 2010.

PRASAD, S. et al. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. **Energy & Fuels**, Washington, v. 21, n. 4, p. 2415–2420, 2007.

QUEIRÓZ, M. V. B. M. de. **Balanço energético da produção de sorgo sacarino em cultivo irrigado e sequeiro**. 2014. 49f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados- MS, 2014.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrien Institute, p. 420, 2011.

RAIJ, B. VAN. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 284p.

REDDY, B. V. S. et al. Developing a Sweet Sorghum Ethanol Value Chain. Documentation. **International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics**, Patancheru, Andhra Pradesh, India. 2013.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. 2 ed. Barueri: Manole, 2012. 524 p.

REIS, T. H. P. et al. Dinâmica do fósforo no solo, disponibilidade e produtividade do cafeeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 503-512, 2011.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 713-721, 1998.

RIBEIRO, P. A. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 279-287, 2010.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: EMBRAPA, 26 p., 2010. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 8).

SAAD, J. C. C. Fundamentos e critérios para o manejo da irrigação. In: SALOMÃO, L. C.; SANCHES, L. V. C.; SAAD, J. C. C.; BÔAS, R. L. V. **Manejo de irrigação: um guia prático para o uso racional da água**. Botucatu: FEPAF, 2009. cap. 1, p. 1-13.

SAAD, J. C. C. et al. Estudo da distribuição da evapotranspiração de referência visando o dimensionamento de sistema de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 10-17, 2002.

SALOMÃO, L. C. **Determinação do tempo de vácuo, momento de coleta e posicionamento de extratores de cápsulas porosas em solo arenoso**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo, 2009.

SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 26 p.

SANS, L. M. A.; A. V. de C. de MORAIS; D. P. GUIMARÃES. **Época de plantio de sorgo** Sete Lagoas: MAPA, 2003. (Comunicado Técnico, 80).

SANTOS, F. C. dos, et al. Adubações nitrogenada e potássica no sorgo biomassa-produtividade e qualidade de fibra. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2014.

SANTOS, P. R. et al. Influência de diferentes lâminas de irrigação na elevação do pH com calcário em um Latossolo Vermelho argiloso. In: CONGRESSO MINEIRO DE INOVAÇÕES AGROPECUÁRIAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA PRODUÇÃO ANIMAL E VEGETAL, 9., 2016, Patos de Minas. **Anais...** Patos de Minas, MG: UNIPAM, 2016. 1 CD-ROM.

SAWARGAONKAR, G. L. et al. Nitrogen response and water use efficiency of sweet sorghum cultivars. **Field Crops Research**. Amsterdam, v. 149, p. 245-251. 2013.

SILVA, A. J. N.; CABEDA M. S. V.; LIMA, J. F. W. F. Efeitos de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29. p. 833-842, 2005.

SILVA, A. O. da; SILVA, E. F. de F.; KLAR, A. E. Eficiência de uso da água em cultivares de beterraba submetidas a diferentes tensões da água no solo. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 27-36, 2013.

SILVA, M. de A. et al. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p.241–249, 2014.

SILVA, N. P. S. et al. Diâmetro de colmo de Variedades de Cana-de-Açúcar Submetidas a Diferentes Lâminas de Irrigação no Norte de Minas Gerais. In: XIV Seminário de Pesquisa e Pós-graduação, 14; Seminário de Iniciação Científica, 7; Seminário PIBID, 4. Montes Claros, 2013. **Anais...** Câmpus Universitário Professor Darcy Ribeiro. Montes Claros – MG. 2013. 1 CD-ROM.

SILVA, P. F. et al. Determinação da capacidade de campo de um Neossolo Amarelo-Vermelho Distrófico através da infiltração de água no solo. In: Oitavo Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 8, 2012, Campina Grande, **Anais...**, Campina Grande, 2012. 4 p. CD-ROM.

SILVA, W. L. da. **Avaliação da fertilidade do solo e salinidade das comunidades Cajueiro e Boqueirão, Município de Catolé do Rocha-PB**. 2014. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Agrárias)- Universidade Estadual da Paraíba. Centro de Ciências Humanas e Agrárias. Catolé do Rocha-PB. 2014.

SIMÕES, D. A. **Sorgo sacarino para produção de etanol e forragem no outono-inverno**. 2011. 34 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Agrônômica). Universidade Estadual de Montes Claros. Janaúba - MG. 2011.

SOARES, E. R. **Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino**. 2013. 29p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciências do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

SOARES, E. R. et al. Crescimento e acúmulo de potássio em cultivares de sorgo sacarino. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 34, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC. p.1-4. 2013.

SOUSA, I. F. de; FACCIOLI, G. G.; AGUIAR NETTO, A. de O. Avaliação do coeficiente do tanque classe “A” na estimativa da evapotranspiração de referência no baixo São Francisco, SE. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 47-58, 2016.

SOUZA, A. P. de et al. Taxas de decomposição de resíduos vegetais submetidos a lâminas de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 512-526, jul.-set., 2014.

SOUZA, D. M. G de; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do Solo e sua Correção (Cap. V), 2007, p. 205-274, In.: NOVAIS, R. F.; et. al. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Viçosa-MG, 2007, 1017p.

SOUZA, V. F. de, et al. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Editores técnicos. Souza, V. F. de, et al. 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. E-book: no formato e Pub, convertido do livro impresso.

SOUZA, V. F. et al. ADA Stability and stability of sweet sorghum cultivars. Crop Breeding and Applied. **Biotechnology**, New York, v. 13, n. 2, 2013.

SOUZA, V. F. de. et al. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em duas épocas de plantio no norte de Minas Gerais visando à produção de etanol. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 6, 2011, Búzios: **Anais...** Búzios: SBMP, 2011. 1 CD-ROM.

SOUZA, A. P. et al. Utilização da evapotranspiração para o manejo da irrigação. In: SALOMÃO, L. C; SANCHES, L. V. C.; SAAD, J. C. C; VILLAS BÔAS, R. L. **Manejo de Irrigação: um guia prático para o uso racional da água**. Botucatu: FEPAF, 2009. cap. 4, p. 46-63.

SOUZA, C. C.; DANTAS, J. P.; SILVA, S. M.; SOUZA, V. C.; ALMEIDA, F. A.; SILVA, L. E. Produtividade do Sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimento**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 512-517, 2005.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E. Distribuição da água Distribuição da água no solo para o dimensionamento no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 7-15, 2004.

TAGLIAFERRE, C. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência com uso do irrigômetro em Vitória da Conquista/BA. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 28-38, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954 p.

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. **Irrigation Science**, Berlin Heidelberg, v. 29, p. 79-89, 2011.

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.

TRAGNAGO, J. L.; ROSLLER, G.; ANDRIOLO, V. AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE SORGO SACARINO 2013/141. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 19; MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17 E MOSTRA DE EXTENSÃO, 12. **Anais...** Gráfica UNICRUZ, Cruz Alta, 2014. 1 CD-ROM.

VERMERRIS, W. et al. 2013. **Production of biofuel crops in Flórida: Sweet sorghum**. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu/ag298>. Acesso em: 29 jan. 2015.

WESCHENFELDER, S. C. **Aplicação do Custeio Baseado em Atividades na Determinação do Custo de Produção de Etanol a partir Do Sorgo Sacarino em Pequena Unidade de Produção**. 2011. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2011.

ZWIRTES, A. L. et. al. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 976-688, 2015.