

Análise Técnica da Irrigação Subótima na Cultura do Sorgo em Consórcio com Espécies Forrageiras



Panículas de sorgo na fase de enchimento de grãos (acima à esquerda) e na fase de colheita (acima à direita). Plantas de sorgo na fase vegetativa indicando bateria de coletores de irrigação (abaixo à esquerda) em integração com braquiária (abaixo à direita).

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
211**

**Análise Técnica da Irrigação Subótima
na Cultura do Sorgo em Consórcio
com Espécies Forrageiras**

João Igor Fraga Furtado
Isabela Cristina Martins Oliveira
Camilo de Lelis Teixeira de Andrade
Rosângela Maria Simeão Resende

*Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2020*

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Maria Marta Pastina

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria Cristina Dias Paes

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Mônica Aparecida de Castro

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Mônica Aparecida de Castro

Foto da capa
Isabela Cristina Martins Oliveira

1ª edição
Publicação digital (2020)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Nome da unidade catalogadora

Análise técnica da irrigação subótima na cultura do sorgo em consórcio com espécies forrageiras / João Igor Fraga Furtado ... [et al.]. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

39 p.: il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 211).

1. Irrigação. 2. *Sorghum bicolor*. 3. Consorciação de cultura. 4. Silagem. I. Furtado, João Igor Fraga. II. Oliveira, Isabela Cristina Martins. III. Andrade, Camilo de Lelis Teixeira de. IV. Resende, Rosângela Maria Simeão. V. Série.

CDD 631.7 (21. ed.)

Sumário

Resumo	05
Abstract	07
Introdução.....	08
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	14
Conclusões.....	31
Referências	32
Literatura Recomendada	38

Análise Técnica da Irrigação Subótima na Cultura do Sorgo em Consórcio com Espécies Forrageiras

João Igor Fraga Furtado¹

Isabela Cristina Martins Oliveira²

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade³

Rosângela Maria Simeão Resende⁴

Resumo – A Integração Lavoura-Pecuária é uma ótima estratégia para suprir a alimentação animal em períodos de seca, pois, além de produzir uma silagem de qualidade e estabelecer uma pastagem vigorosa, permite a formação de cobertura do solo para plantio direto subsequente. O sorgo forrageiro é uma alternativa viável nesse sistema, pois é tolerante ao déficit hídrico e adaptado a condições limitantes para o cultivo do milho. Todavia, a estiagem prolongada pode comprometer a produção e, por isso, o emprego da irrigação subótima constitui-se estratégia para incrementar a eficiência de uso da água sem perdas significativas de rendimento. O objetivo deste estudo foi avaliar a resposta, em termos de produtividade de fitomassa para silagem e produtividade da água, do sorgo em consórcio com duas cultivares de braquiária sob diferentes lâminas de irrigação. O trabalho foi desenvolvido na segunda safra do ano de 2019, na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo. O híbrido de sorgo forrageiro, BRS 658, foi semeado solteiro e em consórcio com as cultivares de braquiária BRS Paiaguás e BRS Ipyorã, em 27/02/2019. A colheita foi realizada aos 121 dias após semeadura (DAS) para avaliação do material para silagem. Avaliou-se o efeito de seis níveis de lâmina d'água, obtidos a partir do sistema de irrigação com distribuição dos aspersores em linha (*line-source*). O delineamento experimental foi o de blo-

¹ Bolsista de Iniciação Tecnológica e Industrial A - CNPq na Embrapa Milho e Sorgo;

² Mestre em Ciências Agrárias – UFSJ/Campus Sete Lagoas;

³ Eng. Agrícola, PhD em Engenharia de Irrigação, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo;

⁴ Bióloga, DSc em Genética, Pesquisadora da Embrapa Gado de Corte

cos casualizados, no esquema em faixas. O fotoperiodismo, a temperatura e o acamamento causaram baixo rendimento do sorgo neste experimento. Não foram verificadas diferenças significativas para o fator consórcio. A interação entre o fator consórcio e lâmina de irrigação foi significativa, bem como o fator lâminas de irrigação para a produtividade de fitomassa fresca e seca e produtividade da água. A irrigação subótima não causou queda significativa na produtividade de fitomassa fresca e seca de silagem ao reduzir a lâmina de irrigação em até 43% e 31% da evapotranspiração de referência (ET₀), respectivamente. Além disso, acarretou aumento na produtividade da água, indicando a potencialidade do uso da irrigação subótima como estratégia para economia de água quando há falta deste recurso.

Termos para indexação: Estresse hídrico; Integração Lavoura-Pecuária; Irrigação com déficit; *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Technical Analysis of Suboptimal Irrigation in Sorghum Intercropped with Forage Species

Abstract – The Crop-Livestock integrated system is a great strategy to supply the animal feed in periods of drought since, in addition to producing quality silage and to establishing a vigorous pasture, it allows the formation of soil cover for subsequent no-tillage. Fodder sorghum is a viable alternative in this system, because it is tolerant to water deficit and adapted to limiting conditions for maize cultivation. However, prolonged drought can damage production and therefore using suboptimal irrigation is a strategy to increase the efficiency of water use without significant yield losses. The aim of this study was to evaluate response, in terms of biomass productivity for silage and of water productivity, of sorghum intercropped with two brachiaria cultivars under different irrigation levels. The experiment was carried out at the experimental station of Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas-Minas Gerais, Brazil) in the second cropping season (offseason) of 2019. The hybrid of fodder sorghum BRS 658 was sowed in February 27, 2019 as single crop and intercropped with the brachiaria cultivars BRS Paiguás and BRS Ipyporã. The harvest was performed at 121 days after sowing (DAS) to evaluate the material for silage. The effect of six irrigation levels was evaluated using an irrigation system with a single lateral of sprinkler heads (line-source). The statistical design was of a randomized block with a scheme of strips. Photoperiodism, temperature and lodging of some plants caused the low yield of sorghum in this trial. No significant differences were observed for the consortium factor. The interaction between the consortium factor and the irrigation levels was significant, as well as the irrigation levels factor to productivity of fresh and dry matter and to water productivity. Suboptimal irrigation did not cause significant decrease in productivity of fresh and dry biomass silage for reduction of irrigation depths of up to 43% and 31% of reference evapotranspiration (ET₀), respectively. It also led to increased water productivity, indicating the potential use of suboptimal irrigation as a strategy to save water where this resource lacks.

Index terms: Water stress; Crop-Livestock Integrated system; Deficit irrigation; *Sorghum bicolor* (L.) Moench..

Introdução

Na agropecuária brasileira, especialmente na pecuária de corte, predomina o sistema extensivo de produção, no qual a alimentação dos animais se dá principalmente em pasto, estando sujeito à estacionalidade do crescimento das forrageiras que se concentra na estação chuvosa. Para que se tenha alimento para os animais no período seco, a conservação de forragem é uma das estratégias a ser empregada (Basso et al., 2012).

Através da fermentação de partes da planta que ocorre na ensilagem mantém-se a qualidade e o valor nutricional da forragem. O uso da silagem minimiza os efeitos negativos da baixa oferta de forragens na produtividade animal de corte e leite (Moraes et al., 2013; Silveira; Santos, 2016; Santos et al., 2017). Por meio da Integração Lavoura-Pecuária (ILP) é possível produzir silagem e estabelecer uma pastagem produtiva que pode ser utilizada na alimentação do rebanho e ainda formar cobertura no solo para o plantio direto da cultura subsequente, funcionando de forma consoante à intensificação do uso de áreas agrícolas (Ceccon et al., 2015).

Neste cenário de ILP, entre as diversas espécies forrageiras, anuais ou perenes, que podem ser utilizadas como culturas principais, destacam-se o milho (*Zea Mays* L.) e o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), que possuem características desejáveis ao processo de ensilagem. O milho é o mais cultivado para esta finalidade, pois apresenta teores adequados de matéria seca, carboidratos solúveis e baixo poder tampão, garantindo a fermentação eficiente da massa ensilada (Zeoula et al., 2003; Santos et al., 2017).

Segundo Neumann et al. (2002), o sorgo apresenta características fenotípicas que facilitam semeadura, manejo, colheita e armazenamento, além de adequado valor nutritivo e carboidratos solúveis essenciais à fermentação láctica. Além disso, o sorgo apresenta-se como alternativa viável para produção de silagem, principalmente em regiões em que as condições edafoclimáticas limitam o cultivo e o potencial produtivo do milho, em especial na segunda safra (Neumann et al., 2005).

A integração de culturas ou consórcio permite que, ao final da colheita da cultura principal, o estágio de desenvolvimento das espécies secundárias proporcione pastagem de qualidade para os animais. Para Jank et al. (2017), o ganho individual e por área da cultivar BRS Paiaguás (*Brachiaria brizan-*

tha), durante a seca, merece destaque, especialmente por apresentar excelente acúmulo de folhas. Valle et al. (2017) ressaltam a cultivar BRS Ipyporã (*Urochloa* híbrida) como a primeira do gênero *Brachiaria* resistente a todas as cigarrinhas-das-pastagens. Ela apresenta elevada porcentagem de folhas de alto valor nutritivo e se destaca pelo ganho de peso por animal, quando comparada às outras cultivares.

A irrigação é uma tecnologia imprescindível no processo de intensificação da agricultura brasileira, especialmente em regiões com baixos índices pluviométricos e estiagem prolongada que submete as culturas a riscos de quebra de safra (Atlas..., 2017). Todavia, a escassez e crescente demanda por recursos hídricos impõem um manejo de irrigação baseado na viabilidade técnico-financeira do sistema de produção e na eficiência de uso da água (Klocke et al., 2012). Assim, em razão da tolerância ao déficit hídrico, o cultivo do sorgo empregando irrigação subótima, ou seja, com aplicação de lâminas de água inferiores às da irrigação plena, submete as plantas a baixos níveis de estresse e não compromete significativamente a produção (Costa; Medeiros, 2017).

No cenário de escassez hídrica, sobretudo em regiões com conflito pelo uso da água, há que se avaliarem as melhores estratégias para uso eficiente dos recursos hídricos. Dentre os diversos indicadores utilizados para estimar a eficiência no uso da água em sistemas que a racionalizam e mitigam impactos ambientais, está a produtividade da água (Rodrigues; Pereira, 2009). Segundo Medrano et al. (2015), elevar esse índice no campo representa um menor emprego de água nas culturas agrícolas e, conseqüentemente, a redução na demanda energética em decorrência do menor bombeamento de água. Rodrigues e Pereira (2009) definem a produtividade da água como a razão entre a produção real da cultura e a quantidade de água utilizada ao longo do ciclo, expressa em kg de massa seca por m³ de água. Uma das formas de acessar a eficiência de uso da água de culturas é através da técnica *line-source* (Hanks et al., 1980; Tagliaferre et al., 2013), uma metodologia que possibilita a avaliação experimental, de forma prática, da relação entre o rendimento e a disponibilidade de água às plantas, além de permitir a quantificação da produtividade da água.

Com intuito de contribuir para o desenvolvimento de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária na região Central de Minas Gerais, o objetivo deste estudo

foi avaliar a resposta, em termos de produtividade de fitomassa e de produtividade da água de irrigação e da cultura do sorgo, em consórcio com duas cultivares de braquiária, sob diferentes níveis de irrigação.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em condições de campo, na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG, Região Central de Minas Gerais (19° 27' 20" S, 44° 10' 21" W, a 725 m de altitude), na segunda safra do ano de 2019, no período de 27 de fevereiro a 27 de junho. A região apresenta clima tropical classificado segundo Köppen como Cwa, com verões quentes e chuvosos e invernos secos. Na análise de dados da série histórica (1927-2013) observa-se que a temperatura média anual é de 21,9 °C, o período chuvoso concentra-se entre outubro e março e a estiagem de abril a setembro, sendo a precipitação pluvial média anual de 1.345,2 mm (Borges Júnior et al., 2017). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo e de textura média (Panoso et al., 2002).

A cultura principal, o híbrido de sorgo forrageiro BRS 658, foi semeada mecanicamente de forma direta em 27 de fevereiro de 2019. As cultivares de *Brachiaria brizantha* (sin. *Urochloa brizantha*), BRS Paiaguás, e BRS Ipyporã (*Brachiaria ruziziensis* x *B. brizantha*, sin. *Urochloa* híbrida), foram semeadas manualmente na linha de plantio de sorgo, a uma profundidade de 2 cm.

O espaçamento da cultura do sorgo foi de 0,70 m entre fileiras; cada parcela foi composta por sete fileiras de 3 m de comprimento, totalizando 14,7 m². Duas fileiras centrais foram selecionadas para avaliação do material para silagem. As duas linhas externas e uma central foram deixadas como bordaduras.

No manejo de plantas daninhas em pré-plantio foram aplicados herbicidas dessecantes, sendo a primeira aplicação com Roundup (glifosato), na dose de 3 kg ha⁻¹, e 2,4 D, na dose de 1 L ha⁻¹, e a segunda com Finale (glufosinato), na dose 2 L ha⁻¹. Pós-plantio, aplicou-se Atrazina (atrazina), herbicida seletivo, na dose 3 L ha⁻¹. A adubação de plantio consistiu em 410 kg ha⁻¹ do formulado NPK 08-28-16+Boro. A primeira adubação de cobertura foi via pulverização de fertilizante foliar de micronutrientes Quimifol Arrank, na dose 1,5 L ha⁻¹, aplicado na fase V4; a segunda consistiu da aplicação de Uréia

(43-00-00), na dose 325 kg ha⁻¹, na fase V6. Na fase V7, repetiu-se a pulverização do fertilizante foliar. O controle de pragas foi realizado com aplicação do inseticida Premio (clorantraniliprole), na dose 125 ml ha⁻¹, para controlar a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

O delineamento experimental foi arranjado em blocos casualizados, com seis repetições, no esquema em faixas, nas quais a cultura do sorgo, em consórcio com as duas gramíneas, constituiu a parcela, e as seis diferentes lâminas de irrigação, as subparcelas. O arranjo experimental original proposto por Hanks et al. (1976), com posterior análise estatística abordada pelo mesmo autor (Hanks et al., 1980), foi modificado, em razão da assimetria, provocada pelo vento, na distribuição da irrigação, em relação à linha central. Desta forma, foram consideradas seis repetições e não três, como preconizados no protocolo original.

O sistema de irrigação foi composto por três linhas laterais com 18 metros entre si e aspersores Rain Bird modelo 14070, com alcance de 18 m, espaçados de 12 m na linha. A área foi irrigada com as três linhas laterais até 35 dias após a semeadura (3 de abril de 2019). Após este período manteve-se apenas a linha central operando, criando-se, então, um gradiente decrescente na lâmina de água aplicada perpendicularmente à linha central de irrigação, característica do sistema *line-source*.

Dados diários de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento, obtidos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada próxima à área do experimento, foram utilizados para estimar a evapotranspiração de referência (ET₀), empregando o modelo Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Os valores de coeficiente de cultivo (K_c) para a cultura do sorgo foram ajustados em 0,91, 1,23 e 0,35, correspondendo, respectivamente, aos estádios de desenvolvimento inicial, médio e final (Allen et al., 1998). O manejo da irrigação foi realizado empregando uma planilha eletrônica (Albuquerque; Andrade, 2001) que calcula diariamente o balanço hídrico no solo, com base nos dados de ET₀, de precipitação pluvial e de irrigação aplicada, levando-se ainda em consideração o K_c e a profundidade efetiva do sistema radicular do sorgo forrageiro. Calculada através do produto entre ET₀ e K_c, a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração real (ET_r), estimada pelo somatório da chuva efetiva e lâmina média de irrigação acumulada para o ciclo em cada tratamento, subsi-

diaram o manejo da irrigação (Doorenbos; Kassam, 1979). A chuva efetiva foi calculada com base na chuva total menos as perdas por percolação profunda e a variação de umidade no solo (Albuquerque; Andrade, 2001). A planilha estima diariamente o requerimento de água da cultura e a lâmina líquida de água necessária para retornar o solo das parcelas experimentais, adjacentes à linha central de irrigação, à capacidade de campo. As lâminas de irrigação empregadas na planilha, para se calcular o balanço hídrico, foram obtidas pela média das lâminas medidas nas parcelas adjacentes à linha central de irrigação. Desta forma, garantiu-se que as repetições do tratamento L1 receberam irrigação plena e não sofreram estresse hídrico.

As faixas com níveis decrescentes de irrigação de L1 até L6 foram estabelecidas de 3 em 3 metros, em relação a linha principal, ou seja, de 0 a 3 m para L1, 3 a 6 m para L2, 6 a 9 m para L3, 9 a 12 m para L4, 12 a 15 m para L5 e 15 a 18 m para L6. Todas as lâminas foram quantificadas ao final de cada irrigação por meio de baterias de coletores milimétricos instalados no centro de cada bloco. Os valores coletados em mm foram convertidos para $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ considerando que 1 mm equivale a 1 litro m^{-2} ou $10 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, já que 1 ha corresponde a 10.000 m^2 . Por fim, determinaram-se as lâminas acumuladas até a data de colheita do material para a silagem. As proporções entre as lâminas de irrigação e de ET_0 , ambas acumuladas até a colheita do material para silagem, em cada tratamento, foram calculadas e utilizadas como variáveis independentes na análise estatística, ou seja, como níveis do fator irrigação.

A colheita do sorgo foi realizada aos 121 dias após semeadura (DAS) quando os grãos do terço central da panícula apresentavam aspecto farináceo, ou seja, com 30 a 35% de matéria seca, de acordo com Oliveira (1998). Em cada unidade experimental, correspondente a um nível de irrigação e repetição, foram coletadas duas fileiras cortando-se as plantas a 10 cm da superfície do solo. O material foi, então, pesado para determinar o peso verde total, e uma amostra de 10 plantas representativas da parcela foram separadas, pesadas e processadas em triturador forrageiro. Posteriormente, retirou-se uma amostra de aproximadamente 1,0 kg do material triturado e homogeneizado, que foi submetida à secagem em estufa de ventilação forçada, a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, até estabilização ou peso constante. A massa seca de material de sorgo foi utilizada juntamente com a área da parcela experimental para a obtenção do peso seco por hectare.

Seguindo análise proposta por Pereira et al. (2009), para o cálculo da produtividade da água da cultura, a água utilizada pela cultura ao longo do ciclo é a soma entre a precipitação efetiva e as lâminas de irrigação (equação 1). Já para o cálculo da produtividade da água de irrigação considera-se somente a água de irrigação (equação 2).

$$PA = \frac{Ya}{Tc} \quad (1)$$

$$PA_{irri} = \frac{Ya}{T_{irri}} \quad (2)$$

em que:

PA = produtividade da água da cultura, em kg m⁻³

PA_{irri} = produtividade da água de irrigação, em kg m⁻³

Ya = fitomassa seca de silagem, em kg ha⁻¹;

T_c = precipitação efetiva + lâmina de água aplicada via irrigação, em m³ ha⁻¹; e

T_{irri} = lâmina de água aplicada via irrigação, em m³ ha⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância para determinação dos fatores que atuam de maneira significativa sobre as variáveis em estudo. Para o fator qualitativo consórcio de culturas, as diferenças foram verificadas pelo teste F e, para a lâmina de irrigação, utilizou-se a regressão. Em relação ao fator irrigação, utilizou-se também o teste de Tukey, para a comparação de médias das interações estatisticamente significativas. As análises estatísticas foram realizadas no software R 3.5.2 (R Core Team, 2018), considerando-se o nível de 5% de significância.

Resultados e Discussão

Variáveis meteorológicas, irrigação e balanço hídrico

Os resultados das médias diárias das variáveis meteorológicas temperatura máxima, mínima e média do ar, precipitação e evapotranspiração de referência para o período de 27 de fevereiro a 27 de junho estão apresentados na Figura 1.

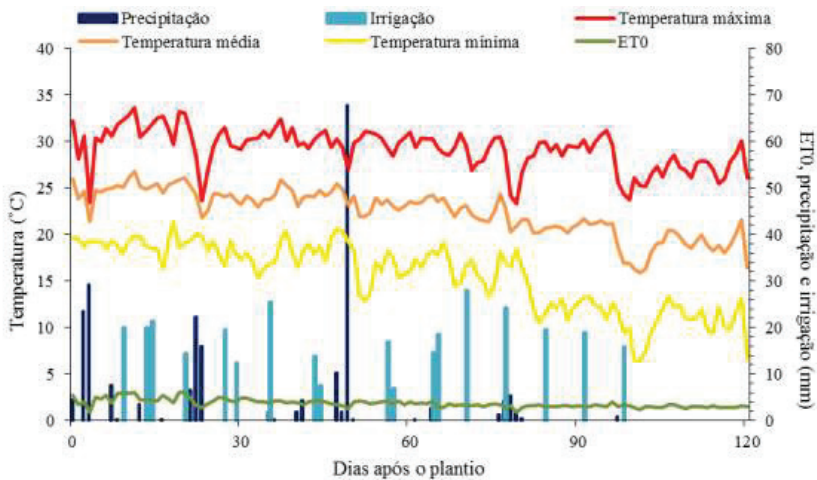


Figura 1. Médias diárias das temperaturas máxima, mínima e média, precipitação pluvial, evapotranspiração de referência (ET0) e irrigação aplicada ao longo do ciclo da cultura, no ano de 2019.

A temperatura média do ar durante o ciclo da cultura foi de 22,4 °C, sendo a média máxima de 29,2 °C e a média mínima de 15,6 °C (Figura 1). A maior temperatura foi de 33,6 °C, observada aos 11 dias após o plantio (DAS), e a menor de 6,4 °C, verificada aos 100 e 101 DAS. Em comparação com dados de temperatura média anual do mesmo período, calculados para o período de 1927 a 2013 (Borges Júnior et al., 2017), houve um aumento de 0,5 °C.

Valores diários de ET_0 atingiram um máximo de 6,04 mm e um mínimo de 1,81 mm, ambos no mês de março de 2019, enquanto o valor acumulado até a colheita da silagem (121 DAS) totalizou 443 mm. A ET_c acumulada, considerando as parcelas com irrigação plena, somou 457 mm até o ponto de ensilagem. Os valores de ET_r observados corresponderam proporcionalmente às lâminas de irrigação, ou seja, os maiores valores de ET_r são observados quando a disponibilidade hídrica é elevada, por causa da existência da relação direta entre o volume de água aplicada e a evapotranspiração (Machado et al., 2015). Dessa forma, o maior valor de ET_r foi de 445,3 mm, com a lâmina de 74% da ET_0 , e sucessivamente 433 mm (71% da ET_0), 408,7 mm (65% da ET_0), 364,8 mm (55% da ET_0), 312 mm (43% da ET_0) e 250,7 mm (31% da ET_0) (Tabela 1).

Tabela 1. – Dados de chuva total, chuva efetiva, ET_0 , ET_r , ET_c e lâminas de irrigação acumuladas e respectivas porcentagem em relação à evapotranspiração de referência (% ET_0 , %) para os diferentes níveis de irrigação até a colheita do material para silagem. Sete Lagoas-MG, 2019.

Nível de Irrigação ¹	Silagem						
	Chuva total (mm)	Chuva efetiva (mm)	ET_0^2 (mm)	ET_c^3 (mm)	Lâmina de irrigação (mm)	% ET_0^4	ET_r^5 (mm)
L1	220	117	443	457	328,3	74	445,3
L2	220	117	443	457	316,0	71	433,0
L3	220	117	443	457	291,7	65	408,7
L4	220	117	443	457	247,8	55	364,8
L5	220	117	443	457	195,0	43	312,0
L6	220	117	443	457	133,7	31	250,7

¹Níveis de irrigação decrescentes aplicados nas parcelas adjacentes à linha central de irrigação nas distâncias: L1 = 0 a 3 m, L2 = 3 a 6 m, L3 = 6 a 9 m, L4 = 9 a 12 m, L5 = 12 a 15 m, L6 = 15 a 18 m.; ²Evapotranspiração de referência; ³Evapotranspiração da cultura; ⁴Porcentagem da lâmina de irrigação, em relação a lâmina de evapotranspiração de referência; ⁵Evapotranspiração real.

A precipitação observada até o ponto de ensilagem foi de 220 mm, enquanto a chuva efetiva totalizou 117 mm para o mesmo período. A quantidade de chuva ocorrida ao longo do ciclo da cultura foi inferior à precipitação média histórica para o período de condução do experimento (fevereiro a junho) (Ferreira; Souza, 2011). Von Pinho et al. (2007) revelam que a demanda hídrica necessária para se alcançar boas produtividades na cultura do sorgo é de 380 a 600 mm. Assim, as precipitações efetivas não foram suficientes para atender as necessidades hídricas das plantas, sendo necessária a utilização de irrigação suplementar para repor a demanda evapotranspirativa da cultura.

As irrigações foram realizadas de forma plena até os 36 dias após a semeadura (DAS) (Tabela 2). Até esta data, observa-se que a aplicação de água foi relativamente uniforme entre as diferentes parcelas posicionadas transversalmente à linha central de irrigação. Após os 36 DAS, a irrigação foi realizada empregando-se apenas a linha central de aspersores, criando um gradiente transversal na lâmina aplicada, sendo os maiores valores registrados nas parcelas denominadas L1, junto à linha central. A lâmina de irrigação acumulada média ao longo do ciclo do sorgo, de 133,7 mm, medida no nível L6, foi 59,3% menor que a lâmina média acumulada, de 328,3 mm, medida no nível L1.

As lâminas de irrigação aplicadas foram reduzidas gradativamente, de maneira que se reduziu 3,7% de L1 para L2, L2 para L3 (11,1%), L3 para L4 (24,50%) e de L4 para L5 (40,6%) e L5 para L6 (59,3%). Dessa forma, foram praticamente 60% de restrição hídrica em relação ao primeiro nível.

Tabela 2. Lâminas de irrigação (mm) aplicadas ao longo do ciclo da cultura do sorgo e acumuladas até o ponto de colheita do material para silagem. Sete Lagoas-MG, 2019.

Ano	Datas	DAS ¹	Lâminas de irrigação aplicadas ² (mm)					
			L1	L2	L3	L4	L5	L6
2019	8/3	10	18,1	18,9	21,8	22,5	19,5	18,8
	12/3	14	25,0	21,1	16,9	16,9	19,4	20,9
	13/3	15	23,0	23,5	21,7	20,5	20,0	19,1
	19/3	21	14,6	15,0	15,6	15,6	14,1	12,1
	26/3	28	20,6	19,2	19,3	18,8	20,4	19,1
	28/3	30	13,1	12,7	12,4	12,1	12,6	11,9
	3/4	36	25,4	25,4	26,1	26,3	25,0	24,1
	11/4	44	13,7	11,6	9,4	6,3	3,6	0,6
	12/4	45	7,5	6,8	5,9	4,1	2,3	0,8
	24/4	57	16,9	14,2	10,8	6,7	3,8	0,8
	25/4	58	6,9	6,2	5,0	3,8	2,3	0,0
	2/5	65	14,7	15,6	15,9	10,0	3,9	0,0
	3/5	66	21,2	20,9	19,9	16,6	11,3	4,7
	8/5	71	27,8	27,1	21,8	14,4	6,8	0,6
	15/5	78	24,1	23,4	21,3	15,6	9,7	1,4
	22/5	85	19,6	19,4	16,7	12,9	7,2	0,3
	29/5	92	19,0	19,8	17,1	13,1	7,6	0,3
	5/6	106	16,5	14,1	10,5	8,1	3,2	0,0
	Total			328,3	316,0	291,7	247,8	195,0
Redução da Lâmina (%)			0	3,7	11,1	24,5	40,6	59,3

¹DAS = Dias Após Semeadura

²Níveis de irrigação decrescentes aplicada nas parcelas adjacentes à linha central de irrigação nas distâncias: L1 = 0 a 3 m, L2 = 3 a 6 m, L3 = 6 a 9 m, L4 = 9 a 12 m, L5 = 12 a 15 m, L6 = 15 a 18 m.

Além de irregulares, as chuvas foram muito altas no início do ciclo, superiores a 22 mm no 3º, 4º e 23º dia após semeadura e de 68 mm aos 50 DAS. Esses eventos podem esclarecer o valor reduzido da chuva efetiva, uma vez que houve perda de água por percolação e escoamento superficial acima de 70% nesses dias e de 53% da chuva total.

A ET₀ acumulada durante o ciclo da cultura (443 mm) foi próxima à encontrada no trabalho de Zwirtes et al. (2015), que observaram ao longo do ciclo do sorgo (103 DAS) de outubro a janeiro um valor de 488 mm. Em comparação, o presente experimento, mesmo com um ciclo maior (121 DAS), teve a demanda evapotranspirativa da atmosfera menor. Alencar et al. (2011), avaliando tendências nos elementos do clima e suas implicações na evapotranspiração da cultura do milho, observaram médias de evapotranspiração de referência decrescendo para os meses de março, abril, maio e junho ao longo de 40 anos (1968 a 2008) e que esse fenômeno na demanda evapotranspirativa se deve à diminuição da radiação solar nesses meses, além das baixas temperaturas do mês de junho.

Segundo Costa et al. (1994) a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c) acumulada, para o sorgo, em Sete Lagoas, no inverno foi de 539 mm e no verão, de 414 mm, dados de acordo com obtidos por Doorenbos e Pruitt (1977). Considerando o período de plantio deste experimento (fevereiro a junho), o valor de ET_c encontrado (457mm) atingiu um valor bem próximo da média entre a ET_c nas estações estudadas por Costa et al. (1994), portanto está dentro do esperado.

Produção de silagem

Na Tabela 3 é apresentado o resumo da análise de variância da produtividade de fitomassa fresca e seca e da produtividade da água de irrigação e da cultura para a produção de silagem.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente aos dados de produtividade de fitomassa fresca e seca ($t\ ha^{-1}$) e de produtividade da água de irrigação e da água utilizada pela cultura ($kg\ m^{-3}$) para produção de silagem de sorgo.

F.V.	G.L.	QUADRADO MÉDIO SILAGEM			
		Produtividade de fitomassa fresca	Produtividade de fitomassa seca	Produtividade da água de irrigação	Produtividade da água utilizada pela cultura
Bloco	5	122,93	1,61	0,42	0,15
Consórcio (C)	2	9,76 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Resíduo (a)	10	11,18	1,12	0,23	0,10
Lâmina de irrigação (L)	5	119,39*	0,73*	2,00*	0,23*
Resíduo (b)	25	10,04	0,13	0,05	0,01
C x L	10	2,11 ^{ns}	0,27*	0,06 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Resíduo (c)	50	7,27	0,13	0,04	0,02
Média		18,54	2,67	1,14	0,08
CV%		18,03	39,77	42,25	41,52

*Significativo a 0,05 de probabilidade; ^{ns}Não Significativo

Não foram observados efeitos significativos ($p > 0,05$) na produtividade de fitomassa fresca e seca de material para silagem, na produtividade da água de irrigação e da água utilizada pela cultura, para o fator consórcio (C). Este resultado demonstra que a cultura do sorgo não foi afetada significativamente pelas plantas forrageiras utilizadas no consórcio.

Segundo Mechi et al. (2016), os benefícios oriundos do consórcio são obtidos quando existe um efeito residual e acumulativo, em cerca de quatro ou mais anos consecutivos, o que explica o resultado aqui apresentado. Além de ser muito competitivo, o sorgo como planta dominante no consórcio apresenta crescimento inicial mais rápido que as plantas forrageiras, apresentando baixa concorrência das gramíneas (Rezende et al., 2016). Rezende et al. (2016) também verificaram que a produção conjunta de sorgo com outras gramíneas forrageiras não interferiu no seu rendimento de massa seca de colmos, folhas, panícula e planta inteira. Para Timossi et al. (2007), isso é vantajoso, pois, além da cultura do sorgo, é possível ainda obter o aproveitamento das forrageiras para a alimentação animal ou como palhada para o sistema de plantio direto. Apesar disso, é importante planejar quais cultivares serão associadas, sucedidas e rotacionadas, como forma de garantir a sustentabilidade do sistema (Parizi et al., 2009).

Houve significância do fator lâmina de irrigação para produtividade de fitomassa fresca e seca e para produtividade da água de irrigação e da cultura. Klocke et al. (2012), avaliando produção de grãos na cultura do sorgo, afirmam que a resposta do rendimento à irrigação é usualmente quadrática, ou seja, a produtividade decresce após atingir lâmina ótima. De acordo com esses autores, essas respostas podem ser específicas para a localização e podem variar de ano para ano em razão de diferenças na quantidade e tempo da precipitação, na água armazenada no solo e na demanda evaporativa da cultura.

Em sua dissertação, Costa (2017) avaliou a produção de massa fresca na primeira rebrota de sorgo em função da irrigação e observou um comportamento crescente de $t\ ha^{-1}$ de matéria fresca, iniciando na lâmina de 50% da ETc até um ponto máximo (lâmina de 100% da ETc), com posterior queda de produtividade na lâmina de 125% da ETc. Segundo Domingos et al. (2010), a altura de plantas e a matéria verde apresentam comportamento quadrático

em função da lâmina de irrigação aplicada na cultura do sorgo, crescendo até um ponto máximo e decrescendo posteriormente.

O modelo quadrático foi ajustado para a variável produtividade de fitomassa fresca de silagem (Figura 2), com um coeficiente de determinação de 0,93. A máxima produtividade obtida, 20,80 t ha⁻¹, ocorreu quando foi aplicada uma lâmina de irrigação correspondente a 74% da ET₀.

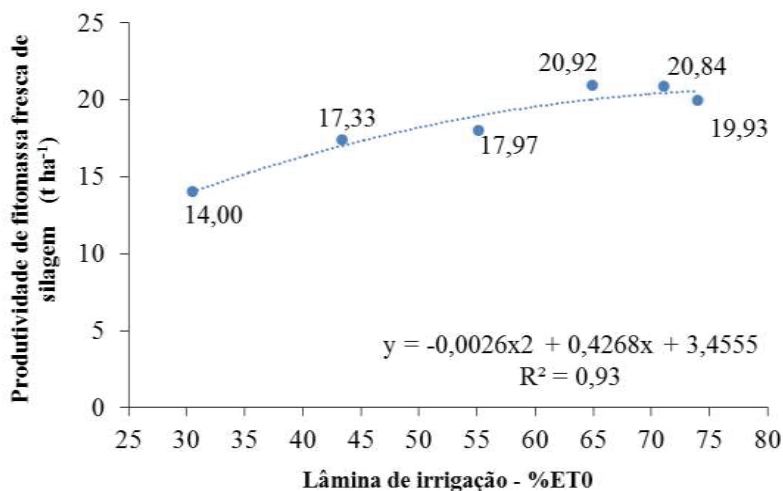


Figura 2. Resposta da cultura do sorgo forrageiro, em termos de produtividade de fitomassa fresca para silagem (t ha⁻¹), sob diferentes níveis de irrigação, expressos como porcentagem da ET₀. Sete Lagoas-MG, 2019.

Em contrapartida, Albuquerque e Mendes (2011) constataram que a irrigação deficitária pode aumentar eficiência no uso da água e impactar a produção de biomassa vegetal para a cultura do sorgo, com distribuições lineares.

Albuquerque et al. (2010) revelam que a produção de matéria seca de cultivares de sorgo forrageiro está diretamente ligada à altura de plantas, porcentagem de folhas, colmo e panículas. Zwirter et al. (2015), avaliando o manejo da irrigação deficitária com base na reposição da ET_c em Santa Maria-RS, verificaram que o índice de área foliar e a altura das plantas aumentaram linearmente com o incremento na produtividade, decorrente do aumento da reposição de água de 25% para 100% da ET_c. Farré e Faci (2006), aplicando lâminas de irrigação com reposição de 100% e 20% da ET_c, observaram re-

dução de 8.540 kg ha⁻¹ para 640 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos de sorgo e alegaram que essas diferenças elevadas na produtividade da cultura foram ocasionadas pela reduzida quantidade de chuvas e elevada demanda evaporativa durante o ciclo de desenvolvimento.

O modelo linear foi ajustado para a variável produtividade de fitomassa seca de material para silagem (Figura 3), com o coeficiente de determinação de 0,84. A máxima produtividade obtida, 2,82 t ha⁻¹ (2,85 t ha⁻¹ no modelo ajustado), ocorreu quando se aplicaram 328,3 mm de água, ou seja, 74% da ETO.

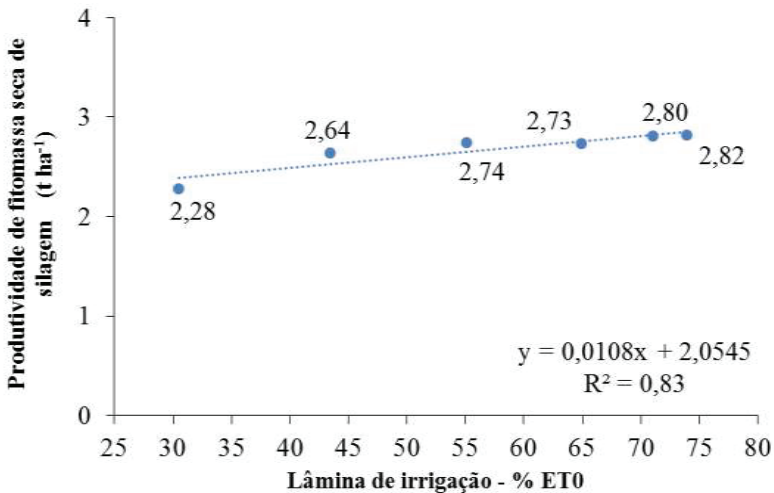


Figura 3. Resposta da cultura do sorgo forrageiro, em termos de produtividade de fitomassa seca para silagem (t ha⁻¹), sob diferentes níveis de irrigação, expresso como porcentagem da ETO. Sete Lagoas-MG, 2019.

Como a interação entre o fator consórcio e a lâmina de irrigação para a produtividade de fitomassa seca de silagem foi significativa, procedeu-se o desdobramento. O sistema de cultivo do sorgo solteiro (SS) destacou-se com produtividade média de matéria seca para silagem de 3,20 t ha⁻¹, quando irrigado com lâmina de 65% da ETO (Tabela 4). Uma vez que as médias de produtividade para cada consórcio foram estatisticamente iguais pelo teste Tukey a 5%, é possível inferir que, independentemente do consórcio, a redução da lâmina pode ser uma estratégia para economia de água sem perdas significativas de produção.

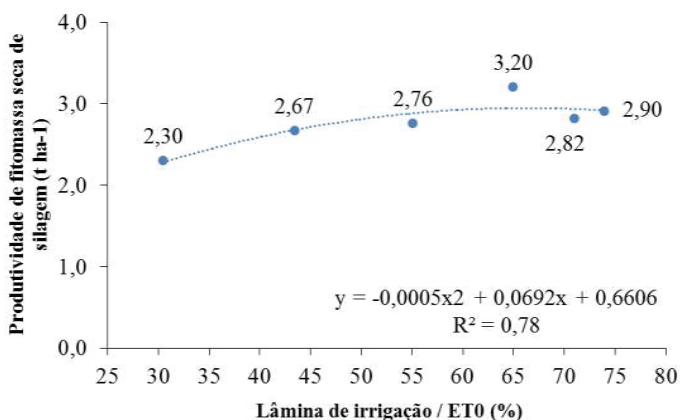
Tabela 4. Produtividade média de fitomassa seca de silagem ($t\ ha^{-1}$), em função do consórcio, dentro de cada lâmina de irrigação, ano 2019.

Consórcio	Produtividade média de silagem ($t\ ha^{-1}$)	
	Fitomassa Seca	
SS ¹	3,20 a	
SI ²	2,56 a	
SP ³	2,47 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% ($p > 0,05$).

¹ Sorgo Solteiro; ² Sorgo-Ipyporã; ³ Sorgo-Paiaguás

Realizando o desdobramento do fator irrigação dentro de cada nível de consórcio para produtividade de fitomassa seca, foi possível observar o comportamento do sistema de cultivo do sorgo solteiro em função das lâminas aplicadas (Figura 4). Após atingir o rendimento máximo ($3,20\ t\ ha^{-1}$), com a lâmina ótima correspondente a 65% da ET_0 , houve uma queda na produtividade mesmo com aplicação de lâminas maiores.

**Figura 4.** Produtividade de fitomassa seca de silagem ($t\ ha^{-1}$), em função da lâmina de irrigação dentro do consórcio Sorgo Solteiro. Sete Lagoas-MG, 2019.

Realizando o desdobramento para o consórcio Sorgo-Ipyorã (Figura 5), foi possível observar também que a cultura atingiu um rendimento máximo (2,88 t ha⁻¹) ao receber lâmina de irrigação correspondente a 55% da ET₀. Posteriormente, a produtividade de fitomassa seca de silagem para esse sistema de cultivo também reduziu, revelando possível estresse por excesso de irrigação. Este fato corrobora com a tese de Kirchner (2019), que, avaliando a cultura do sorgo forrageiro sob diferentes lâminas de irrigação por aspersão convencional em Santa Maria-RS, observou que a maior produtividade de massa seca de silagem (13 t ha⁻¹) foi obtida com a lâmina de irrigação correspondente a 100% da ET₀, com posterior redução da produtividade com a lâmina de 125% ET_c. De acordo com Bernardo et al. (2006), para a cultura alcançar seu máximo potencial produtivo é necessária ótima disponibilidade de água, mas se aplicada em excesso resultará em baixa aeração na zona radicular, lixiviação de nutrientes do solo e, conseqüentemente, perdas de produtividade.

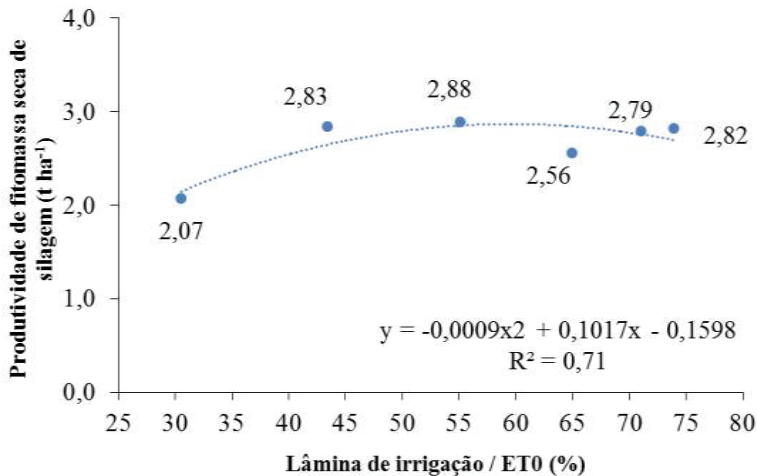


Figura 5. Produtividade de fitomassa seca de silagem (t ha⁻¹) em função da lâmina de irrigação dentro do consórcio Sorgo-Ipyorã. Sete Lagoas, MG, 2019.

Com base no teste de Tukey (Tabela 5) a redução da irrigação em até 43% (195 mm) da ET₀ não acarretou diferença significativa na produtividade de fitomassa fresca em relação à produtividade alcançada com a maior lâmina. Para produtividade de fitomassa seca, os níveis de irrigação não promoveram diferença significativa. Este fato pode ser explicado pela tolerância ao déficit hídrico da cultura do sorgo, que não teve o rendimento afetado significativamente com as reduções das lâminas, de modo que o uso dessa estratégia de irrigação pode proporcionar economia de água. No trabalho de Da Costa et al. (2017), o rendimento médio de 51,98 t ha⁻¹ para a lâmina de irrigação de 100% da ET_c não se diferiu estatisticamente das lâminas de 50 e 125% da ET_c, demonstrando a possibilidade de se aplicar menos água.

Tabela 5. Produtividade de fitomassa fresca e seca de silagem (t ha⁻¹) em função da proporção da irrigação em relação à ET₀ (%), ano 2019.

Níveis de irrigação (%ET ₀)	Produtividade de silagem (t ha ⁻¹)	
	Fitomassa Fresca	Fitomassa Seca
74	19,93 a	2,82 a
71	20,84 a	2,80 a
65	20,92 a	2,73 a
55	17,97 a	2,74 a
43	17,33 a	2,64 a
31	14,00 b	2,28 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% ($p > 0,05$).

Howell et al. (2007), em avaliações produção de massa seca de sorgo com irrigação plena e com reposição de 50% da ETc, também não encontraram diferenças significativas, com valores de 18 a 20 t ha⁻¹ de matéria seca, com padrão similar aos trabalhos de Farré e Faci (2006).

Os valores de produtividade do sorgo forrageiro BRS 658 encontrados neste experimento estão muito abaixo da faixa ótima de rendimento proposta para a cultivar, de 50 t ha⁻¹ de massa verde e entre 15 a 18 t ha⁻¹ de matéria seca. Alguns fatores que podem ter influenciado esse resultado são a temperatura, o fotoperíodo e o acamamento de plantas. O período da safrinha em Sete Lagoas, no qual se realizou o experimento, é caracterizado por temperatura mais amena e menor comprimento dos dias (Duarte, 2015), o que afeta o desenvolvimento da cultura do sorgo.

Em razão de sua origem tropical, o sorgo é um dos cultivos agrícolas mais sensíveis a baixas temperaturas noturnas. A temperatura ótima para crescimento e desenvolvimento é em torno de 33-34 °C, sendo que, sob temperatura acima de 38 °C e abaixo de 16 °C, a produtividade decresce (Pereira Filho; Rodrigues, 2015).

Neste experimento, foram registrados com frequência valores de temperatura abaixo do recomendado, destacando-se os episódios do dia 19 de maio (81 DAS) até a colheita da silagem, pois neste período de 40 dias, a temperatura mínima manteve-se com média de 11,2 °C, possivelmente prejudicando o cultivo.

De acordo com Pereira Filho e Rodrigues (2015), a sensibilidade das cultivares ao fotoperíodo, ou seja, o florescimento das plantas quando há o encurtamento do período de luz, pode afetar o rendimento. Uma vez que o experimento foi plantado na data limite para a safrinha na região de Sete Lagoas, é provável que o material tenha florescido precocemente, e assim produziu abaixo da média. Sans et al. (2003) explicam que quanto mais tarde for o plantio, menor será o potencial e maior o risco de perdas por adversidades climáticas como temperatura, fotoperíodo e/ou geada.

Além do porte alto, o híbrido BRS 658 apresenta resistência ao acamamento, porém, com frequente ataque de pássaros e fortes rajadas de vento, o experimento apresentou uma alta porcentagem de plantas acamadas. Segundo Silva et al. (1996), a altura de híbridos pode influenciar o aumento

no número de materiais acamados. Cultivares de porte alto são mais sujeitas ao acamamento ou tombamento das plantas, pois há correlação negativa entre a altura da planta e população de plantas/ha. Para essas cultivares recomenda-se menor população de plantas, aumentando o espaçamento entre fileiras, 80-90 cm, e diminuindo o número de plantas na fileira, de 8 a 10 (Rodrigues, 2013). Datsch et al. (2019), avaliando o sorgo BRS 658 sob diferentes densidades de plantas e espaçamentos de semeadura, observaram redução de 26,52% de produtividade em uma população de 150 mil plantas ha^{-1} , quando comparada à densidade de 50 mil plantas por ha^{-1} , e que o espaçamento de 1 m entre fileiras foi o de maior produtividade. Nesse sentido, as parcelas com estande de 10 plantas por metro linear e espaçamento entre fileiras de 70 cm simularam uma população de aproximadamente 140 mil plantas ha^{-1} , o que pode ter influenciado o acamamento também.

Portanto, esses fatos podem ter contribuído para a baixa produção da cultura e para que a produtividade de fitomassa seca não tenha alcançado o máximo potencial produtivo e, por isso, não se ajustou tão bem a um modelo quadrático como para a produtividade de fitomassa fresca. Assim, o aumento da lâmina de irrigação aplicada com reposição maior que 74% da ET_0 , associado às táticas de manejo, poderia proporcionar maiores valores de produção.

Também foi verificado efeito significativo no nível de 5% de probabilidade das lâminas de irrigação para a produtividade da água de irrigação e da cultura para a produção de massa seca de material para silagem. Observou-se um efeito linear negativo do aumento da lâmina de irrigação na produtividade da água de irrigação (Figura 6). O valor mínimo de $0,86 \text{ kg m}^{-3}$ ($0,82 \text{ kg m}^{-3}$ no modelo ajustado) de produtividade de água foi observado para a maior lâmina de irrigação (74% da ET_0).

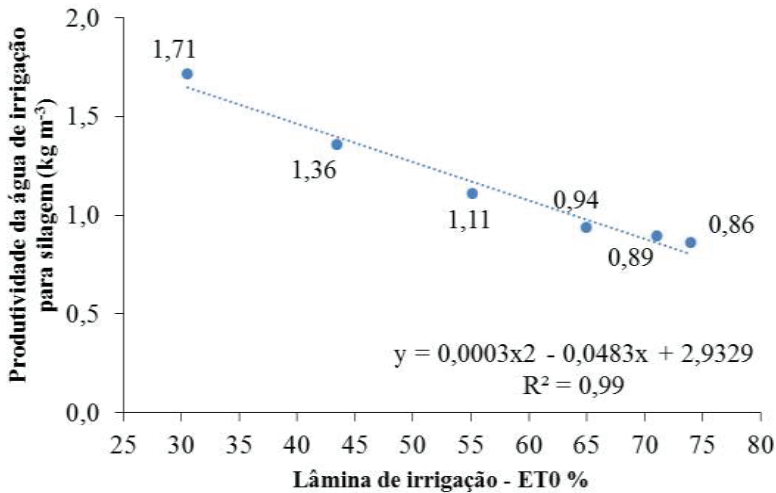


Figura 6. Resposta da cultura do sorgo, em termos de produtividade da água de irrigação para fitomassa seca de silagem (kg m^{-3}), sob diferentes níveis de irrigação, expressos como porcentagem da ET_0 , ano 2019.

Reduzindo-se a lâmina de irrigação de 74% da ET_0 (L1) para 31% da ET_0 , obteve-se a maior produtividade da água de irrigação, $1,71 \text{ kg m}^{-3}$ ($1,65 \text{ kg m}^{-3}$ no modelo ajustado), com um aumento de 98% da PAirri. Ao analisar a produtividade de fitomassa seca de silagem e a produtividade da água de irrigação do experimento, o incremento no déficit hídrico em até 31% da ET_0 assegurou um rendimento significativamente semelhante ao que se aplicou a maior lâmina, evidenciando um aumento na eficiência no uso da água.

Observou-se efeito linear negativo também para a produtividade da água usada pela cultura do sorgo (Figura 7) à medida que se aumentou a lâmina de irrigação.

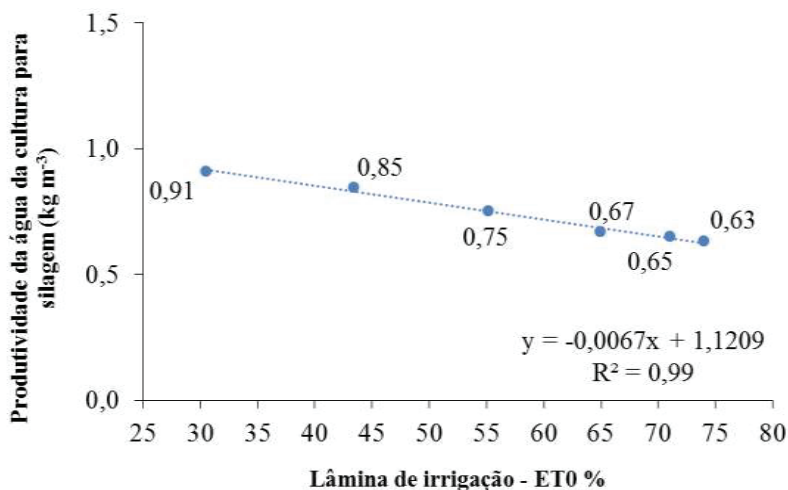


Figura 7. Resposta da cultura do sorgo, em termos de produtividade da água da cultura para fitomassa seca de silagem (kg m^{-3}), sob diferentes níveis de irrigação, expressos como porcentagem da ET_0 , ano 2019.

Com um coeficiente de determinação de 0,99, a PA mínima de $0,63 \text{ kg m}^{-3}$ foi obtida na lâmina de 74% da ET_0 (L1). Com discreta tendência crescente e R^2 de 0,99, a redução da lâmina para 31% da ET_0 (L6) elevou em 44% a produtividade da água da cultura para $0,91 \text{ kg m}^{-3}$ e não refletiu em diferenças significativas na produtividade de fitomassa seca de silagem de sorgo. Assim, a utilização da menor lâmina resultou em maior eficiência no uso da água, e pode ser uma estratégia para economia quando há pouca disponibilidade desse recurso.

No trabalho de Zwirter et al. (2015), o incremento da irrigação deficitária de 100% para 25% da ET_c elevou em $11,25 \text{ kg mm}^{-1}$ (14%) a produtividade da água de irrigação para a produção de grãos de sorgo, com uma resposta linear similar ao encontrado neste experimento. Kirchner (2016), observando a influência de lâminas de irrigação (0%, 61%, 65%, 77%, 100% e 136% da ET_0) no sorgo forrageiro em Santa Maria-RS, encontraram a maior eficiência no uso da água de irrigação (EUA) de $12,86 \text{ kg m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ e $12,27 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ para as lâminas de 65% e 61% da ET_0 , respectivamente. A menor média obtida foi de $7,83 \text{ kg m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ para a maior lâmina (136%). Melo (2006), avaliando

sorgo e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) r. brown), sob níveis de água de 0, 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo do solo (CAD), encontrou EUA maior para as menores lâminas de irrigação, observando 4,5 g/kg para 25% da CAD e 3,0 g/kg para 100% da CAD.

Apesar das diferenças entre a produtividade da água ou eficiência no uso da água obtidas nos trabalhos, estes resultados corroboram com o presente experimento e reforçam a característica de tolerância do sorgo ao déficit hídrico. De acordo com Brito et al. (2012), aumentar a produtividade da água pode ser uma resposta à escassez hídrica enfrentada pela cultura. Além disso, um manejo que preconize reposição parcial da necessidade hídrica da cultura ou redução na frequência de irrigação pode elevar este índice (Ali; Talukder, 2008). Smit e Singels (2006) afirmam que a magnitude das variações da produtividade da água existente entre os trabalhos pode ser resultante de diferenças entre a cultivar utilizada, ciclo da cultura, condições ambientais e as práticas de manejo adotadas.

Dessa forma, foi possível observar as diferentes respostas na produtividade de fitomassa de silagem, produtividade da água de irrigação e produtividade da água da cultura do sorgo em consórcio com duas cultivares de braquiária sob os diferentes níveis de irrigação. É importante ressaltar também que, para a cultura alcançar o seu potencial produtivo, é necessário combinar material genético e práticas de manejo. De maneira geral, o uso da irrigação subótima pode significar economia de água em diferentes sistemas de cultivo sem causar grandes prejuízos à produtividade, mas deve ser mais bem estudado para verificar a aptidão da cultura a essa estratégia e a viabilidade econômica do sistema, pois a tolerância ao estresse hídrico varia de acordo com as características da planta, e o retorno financeiro deve ser satisfatório para o emprego desta técnica.

Conclusões

O cultivo do sorgo forrageiro BRS 658, consorciado com as gramíneas BRS Paiaguás e BRS Ipyporã, não apresentou efeito significativo na produtividade de fitomassa para silagem e na produtividade da água.

A redução da lâmina de irrigação em até 43% da ET₀ não reduziu significativamente a produtividade de fitomassa fresca de silagem, bem como a utilização da lâmina mínima de 31% da ET₀ não acarretou prejuízo significativo à produtividade de fitomassa seca de silagem.

O uso de irrigação subótima, a partir da aplicação de lâminas menores que a requerida pela cultura do sorgo, resulta em maior produtividade da água de irrigação e maior produtividade da água da cultura para a produção de fitomassa seca de silagem. A lâmina equivalente a 31% da ET₀ proporciona elevação de 98% na produtividade da água de irrigação para a produção de fitomassa seca de silagem.

Agradecimentos

A Deus pela vida, por me iluminar e dar forças para realização do trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de Iniciação Tecnológica e Industrial-A CNPq.

À Embrapa Milho e Sorgo, pela oportunidade de estágio que possibilitou enorme aprendizado.

Aos funcionários e colegas de trabalho do NSAM, pelo companheirismo e pelos ensinamentos para vida pessoal e profissional.

Ao meu orientador, Dr. Camilo de Lelis, pela confiança, paciência e disposição para ensinar e conduzir.

E a todos que me apoiaram e contribuíram de alguma forma para concretização deste trabalho.

Referências

- ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENDES, M. C. Época de semeadura do sorgo forrageiro em duas localidades do estado de Minas Gerais. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 4, n. 1 p. 116-125, 2011.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; ROCHA, G. R.; BRANT, R. S.; MENDES, M. C. Espaçamento reduzido para o cultivo do sorgo granífero no sistema irrigado e em sequeiro. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 7-16, 2010.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. de L. T. de. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 10).
- ALENCAR, L. P. de; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C.; MARTINEZ, M. A. Tendências recentes nos elementos do clima e suas implicações na evapotranspiração da cultura do milho em Viçosa-MG. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4, p. 631-642, 2011.
- ALI, M. H.; TALUKDER, M. S. U. Increasing water productivity in crop production: a synthesis, **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 11, p. 1201-1213, 2008.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper, 56).
- ATLAS irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2017. 86 p.
- BASSO, F. C.; LARA, E. C.; ASSIS, F. B. D.; RABELO, C. H. S.; MORELLI, M.; REIS, R. A. Características da fermentação e estabilidade aeróbia de silagens de milho inoculadas com *Bacillus subtilis*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 1009-1019, 2012.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p. 361-570.
- BORGES JÚNIOR, J. C. F.; OLIVEIRA, A. L. M.; ANDRADE, C. de L. T. de; PINHEIRO, M. A. B. Equação de Hargreaves-Samani calibrada em diferentes bases temporais para Sete Lagoas, MG. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 1, p. 38-49, 2017.

BRITO, L. T.; CAVALCANTI, N. B.; SILVA, A. S.; PEREIRA, L. A. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 102-109, 2012.

CECCON, G.; CONCENÇO, G.; BORGHI, E.; DUARTE, A. P.; SILVA, A. F.; KAPPES, C.; ALMEIDA, R. E. M. **Implantação e manejo de forrageiras em consórcio com milho safrinha**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 131).

COSTA, E. F.; COUTO, L.; SANS, L. M. A.; AMORIN NETO, M. D. S.; BRITO, R. A. L. Estimativa do consumo de água pela cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L.), a partir da evapotranspiração de referência na região de Sete Lagoas, MG. **Engenharia na Agricultura**, v. 3. n. 27, p. 1-11, 1994.

COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 6, n. 3, p. 169-177, 2017.

COSTA, J. P. N. D. **Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação**. 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN, 2017.

DATSCH, K. D. W.; PORFIRIO, M. D.; NERES, M. A.; FUHR, C. A. Avaliação agrônômica do sorgo BRS 658 sob diferentes densidades de plantas e espaçamentos de semeadura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 29., 2019, Uberaba. **Tecnologias que alimentam o mundo: anais eletrônicos**. Uberaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2019.

DOMINGOS, G. F.; JÚNIOR, A. B. A.; BORGES, I. D.; AGUIAR, P. M.; HENRIQUES, P.; OLIVEIRA, D. Influência de diferentes lâminas de água na produção de forragem de sorgo, no Norte de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. **Potencialidades, desafios e sustentabilidade: resumos expandidos**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yields response to water**. Rome: FAO, 1979. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITI, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (FAO. Irrigation and Drainage Paper 24).

DUARTE, A. P. Milho safrinha se consagra e torna um sistema de produção. **Visão Agrícola**, v. 13, p. 78-82, 2015.

FARRÉ, I.; FACI, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 83, n. 1/2, p. 135-143, 2006.

FERREIRA, W. P. M.; SOUZA, C. F. **Caracterização climática das séries temporais de temperatura e precipitação pluviométrica em Sete Lagoas, MG**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 34 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35).

HANKS, R. J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V. P.; WILSON, G. D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, n. 3, p. 426-429, 1976.

HANKS, R. J.; SISSON, D. V.; HURST, R. L.; HUBBARD, K. G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 4, p. 886-888, 1980.

HOWELL, T. A.; TOLK, J. A.; EVETT, S. R.; COPELAND, K. S.; DUSEK, D. A.; CLEMMENS, A. J. Evapotranspiration of deficit irrigated sorghum and winter wheat. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IRRIGATION AND DRAINAGE., 4., 2007, Sacramento. **The role of irrigation and drainage in a sustainable future**: proceedings. Denver: United States Committee on Irrigation and Drainage, 2007. p. 3-6.

JANK, L.; SANTOS, M. F.; VALLE, C. B. do; BARRIOS, S. C. L.; RESENDE, R. M. S. Novas alternativas de cultivares de forrageiras e melhoramento para a sustentabilidade da pecuária. In: SIMPÓSIO DE ADUBAÇÃO E MANEJO DE PASTAGENS, 4.; SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL A PASTO, 4., 2017, Dracena. **Sustentabilidade do sistema produtivo**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2017. p. 107-117.

KIRCHNER, J. H. **Aspectos produtivos e viabilidade econômico-financeira da irrigação em sorgo forrageiro**. 2019. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

KIRCHNER, J. H. **Influência de diferentes lâminas de irrigação na produção de sorgo forrageiro**. 2016. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

KLOCKE, N. L.; CURRIE, R. S.; TOMSICEK, D. J.; KOEHN, J. W. Sorghum yield response to deficit irrigation. **Transaction of the ASABE**, v. 55, n. 3, p. 947-955, 2012.

MACHADO, C. B.; LIMA, J. D. S.; ANTONINO, A. C. D.; ALVES, E. M.; SOUZA, E. D.; RIBEIRO, A. A.; FIRMINO, F. H. T. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 731-740, 2015.

MECHI, I. A.; SANTOS, A. L. F.; FACHINELLI, R.; LEITE, E. M.; NARDI, J. L.; CECCON, G. Efeito de anos de consórcio milho safrinha com braquiária sobre a produtividade da soja em sucessão. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

MEDRANO, H.; TOMÁS, M.; MARTORELL, S.; ESCALONA, J. M.; POU, A.; FUENTES, S.; BOTA, J. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 2, p. 499-517, 2015.

MELO, D. **Avaliação de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) B. R.) sob diferentes níveis de água no solo**. 2006. 59 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2006.

MORAES, S. D. D.; JOBIM, C. C.; SILVA, M. S. D.; MARQUARDT, F. I. Produção e composição química de híbridos de sorgo e de milho para silagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 4, p. 624-634, 2013.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; PELLEGRINI, L. G. D.; FREITAS, A. K. D. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 293-301, 2002.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; BRONDANI, I. L.; NÖRNBERG, J. L.; MELLO, R. D. O.; SOUZA, A. N. M. de; PELLEGRINI, L. G. D. Efeito do tamanho da partícula e do tipo de silo sobre o valor nutritivo da silagem de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 2, p. 243-250, 2005.

OLIVEIRA, J. S. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 1998. 34 p. (Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 47).

PANOSO, L. A.; RAMOS, D. P.; BRANDÃO, M. **Solos do campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo**: suas características e classificação no novo Sistema Brasileiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 92 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 5).

PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; GOMES, A. C. S.; SOARES, F. C.; RAMÃO, C. J.; PEITER, M. X.; CALEGARO, L. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga**, v. 14, n. 3, p. 254-267, 2009.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 327 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. **Coping with water scarcity. addressing the challenges**. Dordrecht: Springer, 2009. 382 p.

R CORE TEAM. **R 3.5.2: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 13 ago. 2020.

REZENDE, B. P. M.; JAKELAITIS, A.; TAVARES, C. J.; MARANGONI, R. E.; CUNHA, P. C. R. da. Consórcio de sorgo com espécies forrageiras. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 1, p. 57-64, 2016.

RODRIGUES, G. C.; PEREIRA, L. S. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water cost. **Biosystems Engineering**, v. 103, n. 4, p. 536-551, 2009.

RODRIGUES, J. A. S. Produção e utilização de silagem de sorgo. In: SIMPÓSIO AGROMINAS, 2013, Governador Valadares. **O agronegócio regional em evidência**. Governador Valadares: AgroMinas, 2013.

SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. de C. de; GUIMARÃES, D. P. **Época de plantio de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 80).

SANTOS, G.; MORAES, J. M. M.; NUSSIO, L. G. Custo e análise de sensibilidade na produção de silagem. **Revista iPecege**, v. 3, p. 39-48, 2017.

SILVA, F. F.; RODRIGUES, J. A. S.; GONÇALVES, L. C., CORRÊA, C. E. S.; RODRIGUES, N. M.; MOURÃO, G. B. A influência da altura e do teor de matéria seca do colmo sobre a porcentagem de acamamento de treze híbridos de sorgo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1996. p. 380-382.

SILVEIRA, L. de P.; SANTOS, T. M. da C. Silagem de cana-de-açúcar acrescida com aditivos químicos e inoculante bacteriano. **Pubvet**, v. 11, n. 5, p. 424-537, 2016.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, n. 2, p. 91-97, 2006.

TAGLIAFERRE, C.; SANTOS, T. J.; SANTOS, L. C.; SANTOS NETO, I. J.; ROCHA, F. A.; PAULA, A. de. Características agronômicas do feijão-caupi inoculado em função de lâminas de irrigação e de níveis de nitrogênio. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 242-248, 2013.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.

VALLE, C. B. do; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; VALERIO, J. R.; MENDES-BONATTO, A. B.; VERZIGNASSI, J. R.; TORRES, F. Z. V.; MACEDO, M. C. M.; FERNANDES, C. D.; BARRIOS, S. C. L.; DIAS FILHO, M. B.; MACHADO, L. A. Z.; ZIMMER, A. H. **BRS Ippyorã (“belo começo” em guarani)**: híbrido de Brachiaria da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 17 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 137).

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 235-245, 2007.

ZEOULA, L. M.; BELEZE, J. R. F.; CECATO, U.; JOBIM, C. C.; GERON, L. J. V.; MAEDA, E. M.; FALCÃO, A. J. D. S. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays*, L.) em diferentes estádios de maturação: 3. Composição químico-bromatológica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 3, p. 556-566, 2003.

ZWIRTES, A. L.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; KUNZ, J.; REIMANN, G. K. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 676-688, 2015.

Literatura Recomendada

ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, R. G. V.; RODRIGUES, J. A. S.; BRANT, R. D. S. Espaçamento entre fileiras e densidade de semeadura do sorgo forrageiro para a região norte de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 494-501, 2011.

BORGHETTI, J. R.; SILVA, W. L. C.; NOCKO, H. R.; LOYOLA, L. N.; CHIANCA, G. K. (Ed.). **Agricultura irrigada sustentável no Brasil**: identificação de áreas prioritárias. Brasília, DF: FAO, 2018. 255 p.

GARRITY, D. P.; WATTS, D. G.; SULLIVAN, C. Y.; GILLEY, J. R. Moisture deficits and grain sorghum performance: evapotranspiration - yield relationships 1. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 5, p. 815-820, 1982.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; MEZZOMO, W.; BAHÚ BEN, L. H.; PEREIRA, A. C. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 2, e5646, 2019.

SILVA, A. A. da; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. v. 1. p. 83-148.

Embrapa

Milho e Sorgo



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

