

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Wellington Mezzomo

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE
FORRAGEM DO CAPIM SUDÃO IRRIGADO POR ASPERSÃO
CONVENCIONAL**

**Santa Maria – RS
2021**

Wellington Mezzomo

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DO
CAPIM SUDÃO IRRIGADO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

Orientadora: Prof. Dra. Marcia Xavier Peiter

Santa Maria, RS
2021

Wellington Mezzomo

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DO
CAPIM SUDÃO IRRIGADO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

Tese de doutorado apresentada no Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

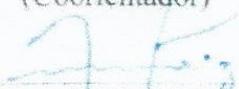
Aprovado em 09 de março de 2021:



Marcia Xavier Peiter, Dr.^a (UFSM) - Videoconferência
(Presidente/Orientadora)



Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM) - Videoconferência
(Coorientador)



Ana Rita Costenaro Parizi, Dr.^a (IFFARROÚPILHA) - Videoconferência



Leonita Beatriz Girardi, Dr.^a (IDEAU) - Videoconferência



Rogério Ricalde Torres, Dr. (IFRS) - Videoconferência



Sirlei Glasenapp, Dr.^a (UFSM) - Videoconferência

Santa Maria, RS

2021

RESUMO

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DO CAPIM SUDÃO IRRIGADO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

AUTOR: Wellington Mezzomo
ORIENTADORA: Marcia Xavier Peiter

As pastagens cultivadas representam a melhor alternativa para suprir a demanda de nutrientes e fornecer volumoso de qualidade aos animais, aumentando o ganho de peso diário e melhorando a eficiência do sistema produtivo. Para manter a qualidade forrageira em períodos com precipitação irregular, a irrigação suplementar é uma alternativa para assegurar a produção, porém, é necessário conhecer a viabilidade econômica da atividade para que os lucros sejam maximizados. O objetivo do presente estudo é avaliar as características biométricas e a viabilidade econômica do capim sudão irrigado por aspersão convencional, sob diferentes lâminas de irrigação, buscando definir qual cenário apresenta a maior lucratividade, sob três cortes de uniformização (50, 80 e 110 dias após a semeadura). O trabalho foi realizado no município de Santa Maria, RS, a semeadura foi realizada em novembro dos anos de 2015 e 2016. Para verificação da viabilidade econômica da irrigação por aspersão convencional, foi determinada a eficiência de utilização da água pela cultura, possibilitando determinar as receitas líquidas para cada tratamento. A oferta forrageira foi de 4% do peso vivo animal, sendo considerados animais de 300 kg, foram simulados diferentes ganhos médios de 0,5, 1,0 e 1,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹ para a conversão da produção de massa seca em ganho diário de peso animal, sendo considerado o valor médio do quilograma de carne pago ao produtor R\$ 6,50, para a determinação da renda bruta. Para a determinação dos custos de produção, os mesmos foram divididos em fixos e variáveis, em relacionados e não relacionados à irrigação. A irrigação por aspersão convencional apresentou-se viável na maioria dos cenários testados, com a maior receita líquida no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da Evapotranspiração de referência em ambos os anos, sendo recomendado a suplementação hídrica plena para a obtenção da maior lucratividade.

Palavras chave: Custos de produção, pastagens cultivadas, oferta forrageira

ABSTRACT

TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF FORAGE PRODUCTION IN SUDAN GRASS IRRIGATED BY CONVENTIONAL ASPERSION

AUTHOR: Wellington Mezzomo

ADVISOR: Marcia Xavier Peiter

Cultivated pastures represent the best alternative to supply the demand for nutrients and provide quality roughage to animals, increasing daily weight gain and improving the efficiency of the production system. To maintain forage quality in periods with irregular rainfall, supplementary irrigation is an alternative to ensure production, however, it is necessary to know the economic viability of the activity so that profits are maximized. The objective of the present study is to evaluate the biometric characteristics and the economic viability of Sudan grass irrigated by conventional sprinkling, under different irrigation depths, trying to define which scenario presents the highest profitability, under three cuts of uniformity (50, 80 and 110 days after sowing). The work was carried out in the municipality of Santa Maria, RS, sowing was carried out in November of the years 2015 and 2016. To verify the economic viability of conventional sprinkler irrigation, the efficiency of water use by the crop was determined, making it possible to determine the net revenues for each treatment. The forage supply was 4% of the animal live weight, being considered 300 kg animals, different average gains of 0.5, 1.0 and 1.5 kg animal⁻¹ day⁻¹ were simulated for the conversion of mass production drought in daily animal weight gain, considering the average value of the kilogram of meat paid to the producer R \$ 6.50, to determine the gross income. To determine production costs, they were divided into fixed and variable, related and unrelated to irrigation. Conventional sprinkler irrigation proved to be viable in most of the scenarios tested, with the highest net revenue in the treatment with the irrigation depths with 100% of reference evapotranspiration in both years, with full water supplementation being recommended to obtain the greatest profitability.

Keywords: Production costs, cultivated pasture, forage supply

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

Figura 1 - Cultura do capim sudão (40 dias após a semeadura e 20 dias após primeiro corte).	15
Figura 2- Coleta de amostras para a caracterização físico-hídrica do solo.	30
Figura 3 - Sistema de irrigação por aspersão convencional utilizado, durante o teste de uniformidade de Chirstiansen (CUC).	34
Figura 4 - Diagrama utilizado para a classificação textural do solo.	36
Figura 5 - Semeadura do capim sudão.	37
Figura 6 - Separação das frações de folhas e de colmos.	39
Figura 7 - Determinação do diâmetro de colmos com paquímetro digital.	40
Figura 8 - Determinação da altura de colmo.	41
Figura 9 - Quantificação da altura de plantas.	42

ARTIGO – 1

Figura 1. Croqui representando as quatro repetições, com detalhamento de um bloco experimental com as distintas lâminas de água aplicadas: 25, 50, 75, 100 e 125% da ETo, mais o tratamento testemunha.	51
Figura 2. Evapotranspiração de referência (ETo), precipitação efetiva e lâmina de irrigação acumulada semanalmente durante os períodos de condução do experimento.	55
Figura 3. Rendimento total de massa seca (MS) e a máxima eficiência técnica no somatório dos três cortes sob diferentes lâminas de água nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.	58
Figura 4. Eficiência de utilização da água em relação ao somatório total de água aplicado, entre a precipitação efetiva e as lâminas de água testadas, com os pontos de máxima eficiência técnica.	61

ARTIGO – 2

Figure 1. Reference evapotranspiration (ETo), effective rainfall and weekly accumulated irrigation depth during the experiment conduction.	75
--	----

ARTIGO – 3

Figura 1. Croqui representando as quatro repetições (blocos), com detalhamento de um bloco experimental com as lâminas de irrigação aplicadas: 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo, mais o tratamento testemunha.	89
Figura 2. Precipitação efetiva, umidade relativa do ar, temperatura máxima e mínima, evapotranspiração de referência (ETo) e lâmina de irrigação acumulada semanalmente durante os dois períodos de condução do experimento.	91
Figura 3. Diâmetros de colmos nos três cortes de uniformização aos 50, 80 e 110 DAS, sob diferentes lâminas de irrigação nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2).	98
Figura 4. Altura de inserção da última folha nos três cortes de uniformização aos 50, 80 e 110 DAS, sob diferentes lâminas de irrigação nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2).	100
Figura 5. Altura total de plantas nos três cortes de uniformização aos 50, 80 e 110 DAS, sob diferentes lâminas de irrigação nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2).	102

LISTA DE TABELAS

APRESENTAÇÃO

Tabela 1 - Características físicas do solo Argissolo Amarelo eutrófico típico, valores médios de três repetições.	31
Tabela 2 - Densidade do solo (DS), de partículas (Dp) e porosidades (macro, micro e total), nas diferentes profundidades, pra os solos das duas áreas experimentais (médias de três repetições).....	31
Tabela 3 - Umidade volumétrica das amostras sob diferentes tensões de água no solo (Argissolo Amarelo eutrófico típico), nas diferentes profundidades analisadas.....	32
Tabela 4 - Disponibilidade Total de Água no Solo (DTA), Capacidade Total de Água no Solo (CTA), fator de depleção (f), Capacidade Real de Água no Solo (CRA), Irrigação Real Necessária (IRN), Irrigação Real Necessária Total acumulada (IRN Total), Evapotranspiração de Referência máxima (ET _o), Turno de Rega (TR).	32
Tabela 5 - Laudo químico do solo.	33

ARTIGO - 1

Tabela 1. Análise química do solo.....	52
Tabela 2. Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e lâmina total de acordo com os diferentes tratamentos utilizados nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.	54
Tabela 3. Resumo da análise de variância para a variável Massa Seca ao 5% de probabilidade de erro, com a significância dos coeficientes de regressão.	57

ARTIGO - 2

Table 1. Effective rainfall, irrigation depths and total irrigation depths for the different treatments performed in the 2015/2016 and 2016/2017 agricultural years	74
Table 2. Dry matter production under different irrigation depths converted to carrying capacity per hectare, with the respective liveweight gain simulations for both agricultural years.	76
Table 3. Costs of non-irrigated and irrigated production systems for Year 1 and Year 2 and the irrigation depths evaluated (25, 50, 75, 100 and 125% of ET _o).....	78
Table 4. Daily liveweight gain (DLWG), gross revenue (GR), total cost (TC), net revenue (NR) and benefit/cost ratio (B/C) under different irrigation depths, in the two years of study.	79

ARTIGO - 3

Tabela 1. Características físicas do solo Argissolo Amarelo Eutrófico típico, valores médios de três repetições.	88
Tabela 2. Caracterização hídrica do solo e da necessidade de irrigação.	89
Tabela 3. Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e lâmina total de acordo com os diferentes tratamentos utilizados nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2)..	92
Tabela 4. Análise química do solo.....	93
Tabela 5. Produção de folhas e colmos, relação folha/colmo sob os tratamentos de irrigação nos três cortes de uniformização (50, 80 e 110 DAS) para o Ano 1 (2015/2016), com os respectivos coeficientes de variação, determinação e regressão.	95
Tabela 6. Produção de folhas e colmos, relação folha/colmo sob os tratamentos de irrigação nos três cortes de uniformização (50, 80 e 110 DAS) para o Ano 2 (2016/2017), com os respectivos coeficientes de variação, determinação e regressão.	96

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	A CULTURA DO CAPIM SUDÃO.	15
3.2	MANEJO DA IRRIGAÇÃO	18
3.3	IRRIGAÇÃO EM PASTAGENS	22
3.4	FUNÇÃO DE PRODUÇÃO	24
3.5	CUSTO DE PRODUÇÃO.....	25
3.5.1	Custos fixos.....	25
3.5.2	Custos variáveis	25
3.6	VIABILIDADE ECONÔMICA	26
4.	MATERIAL E METODOS	29
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA AREA EXPERIMENTAL	29
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	33
4.3	MANEJO DA IRRIGAÇÃO	34
4.4	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	36
4.5	VARIÁVEIS ANALISADAS	38
4.5.1	Produção de massa seca	38
4.5.2	Relação folha/colmo.....	38
4.5.3	Diâmetro e altura de colmos	39
4.5.4	Altura de plantas	41
4.5.5	Análise e interpretação dos dados.....	42
4.5.6	A viabilidade econômica da irrigação.....	42
ARTIGO 1 - PRODUÇÃO FORRAGEIRA E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA		
ÁGUA DO CAPIM SUDÃO SUBMETIDO A DIFERENTES		
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO		
		47
1.	RESUMO.....	47
2.	ABSTRACT	48
3.	INTRODUÇÃO	48

4.	MATERIAL E MÉTODOS	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
6.	CONCLUSÃO	63
7.	REFERÊNCIAS	63
ARTIGO 2 - Economic Viability of Conventional Sprinkler Irrigation in Sudan		
	Grass Production for Beef Cattle	68
1.	Introduction	68
2.	Material and Methods	70
2.1	Experimental Area Characterization	70
2.2	Irrigation System and Management Characterization.....	70
2.3	Sudan Grass Management.....	71
2.4	Statistical Analysis	71
2.5	Animal Liveweight Gain Estimate.....	71
2.6	Gross revenue obtaining	72
2.7	Forage production costs and economic return	72
3.	Results and Discussion	74
4.	Conclusion	81
ARTIGO 3 – CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DO CAPIM SUDÃO (BRS		
ESTRIBO) SOB DIFERENTES LÂMINAS SUPLEMENTARES DE		
IRRIGAÇÃO		
		86
1.	RESUMO	86
2.	ABSTRACT	86
3.	INTRODUÇÃO	87
4.	MATERIAL E MÉTODOS	88
4.1	Caracterização da área experimental.....	88
4.2	Delineamento experimental	89
4.3	Caracterização do sistema de irrigação, manejo e condições climáticas .	90
4.4	Manejo do capim Sudão.....	92
4.5	Relação folha/colmo	93
4.6	Diâmetro de colmos e altura de inserção da última folha	94
4.7	Altura total de plantas	94
4.8	Análise estatística.....	94
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
6.	CONCLUSÃO	103

7.	AGRADECIMENTOS.....	103
8.	REFERÊNCIAS	104
5.	DISCUSSÃO GERAL.....	107
5.1	EVAPOTRANSPIRAÇÃO	108
5.2	PRODUÇÃO FORRAGEIRA.....	108
5.3	EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA	110
5.4	RELAÇÃO FOLHA/COLMO	111
5.5	ALTURA DE PLANTAS.....	115
5.6	CARGA ANIMAL	116
5.7	CUSTO DA IRRIGAÇÃO	117
6.	CONCLUSÕES GERAIS	120
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

1. INTRODUÇÃO

A base da alimentação pecuária no Brasil são as pastagens, visto que existem mais de 180 milhões de hectares, entre nativa, natural e cultivada, porém, cerca de 110 milhões de hectares são utilizados com pastagens cultivadas, pois representam a forma economicamente mais viável e prática para alimentação bovina. Entretanto os resultados econômicos obtidos pela maioria dos produtores rurais ainda estão aquém do esperado.

Atribui-se a tal fato principalmente a irregularidade das precipitações pluviométricas ou a escassez desta, afetando diretamente o desenvolvimento, rendimento e acúmulo de matéria seca, causando instabilidade na alimentação animal e como consequência menor ganho de peso diário e o atraso no momento do abate. Visando aumentar os ganhos em produtividade e tornar a atividade pecuária mais competitiva e rentável, a irrigação em pastagens vem demonstrando-se cada vez mais necessária e vem sendo largamente difundida em todo o território nacional.

No período de primavera-verão, ocasião que ocorre maior instabilidade climática na região sul do Brasil, onde está sendo utilizada a irrigação, a engorda e o abate dos animais são precoces, devido ao suprimento hídrico adequado para a cultura, acarretando em uma maior disponibilidade e também melhor qualidade da forragem, tornando-se uma ferramenta valiosa para a pecuária, pois pode melhorar a qualidade da carne e aumentar a lucratividade da atividade.

Diante do cenário atual, o uso da água deve ser manejado cuidadosamente, visando à sustentabilidade da irrigação e o maior retorno econômico. Estudos mostram, que estas condições são alcançadas quando a irrigação é adaptada à cada condição específica de cultivo, levando em consideração todos os fatores envolvidos na escolha do sistema de irrigação e no manejo da cultura irrigada.

Em áreas de pastagem, é necessário irrigar com equipamento que facilite o manejo e o deslocamento dos animais, considerando simultaneamente o desempenho operacional e a viabilidade econômica. Para pequenas propriedades, com menor nível tecnológico, os sistemas de irrigação por aspersão convencional são os mais adequados, em função do maior aproveitamento da área, menor custo de aquisição e instalação, não exige sistematização do terreno, além da facilidade de operação, manejo e manutenção (Mendonça et al., 2007).

Soares et al. (2015) comprovam a viabilidade da utilização da irrigação na terminação de bovinos, entretanto, citam que deve-se obter altas produtividades a fim de diluir os custos

oriundos da tecnologia. Estes autores também afirmam que a análise econômica é fundamental para avaliar a sustentabilidade das empresas rurais que utilizam a irrigação em pastagens. Tecnologia essa, importante para a intensificação da produção animal.

Afim de maximizar os lucros da atividade, pode ser recomendada a irrigação deficitária, a qual consiste na aplicação de lâminas de água inferiores ao aporte hídrico ótimo, uma vez que a utilização da irrigação possui um custo operacional proporcional ao tempo de uso do sistema, sendo assim é necessário conhecer a resposta da cultura (produção de massa seca) em função dos diferentes aportes hídricos, afim de determinar o ponto de máxima eficiência econômica, assim, embora a produção forrageira não atinja seu potencial produtivo máximo o retorno econômico será maximizado, devido a redução dos custos com a utilização da irrigação.

A carência de informações relacionadas a viabilidade técnico econômica da utilização de pastagens irrigadas é iminente, ainda mais quando trata-se do capim sudão, visto que a cultura teve sua primeira cultivar certificada apenas no ano de 2013 (BRS Estribo), apresentando excelente aceitação por parte dos pecuaristas devido as inúmeras vantagens em relação as demais forrageiras cultivadas, como a semeadura precoce, melhor qualidade nutricional, maior taxa de rebrote, produção de matéria seca elevada, tolerância as intempéries climáticas, ampla época de cultivo, maior tempo de utilização e menor custo de implantação.

Apresentou nos últimos anos um aumento considerável na área cultivada, chegando a marca de cerca de 600 mil hectares no ano de 2018, sendo destinado a produção de carne 542 mil hectares e para a produção de leite 55 mil hectares, segundo o último levantamento realizado pela EMBRAPA.

Apresenta uma ampla abrangência de uso com destaque para o Rio Grande do Sul, mas também sendo utilizada nos estados de Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e sul da Bahia. O impacto econômico gerado pela cultivar BRS Estribo junto ao setor produtivo foi estimado em R\$ 172 milhões de reais, somados o incremento na produção de carne, a economia nos custos com alimentação para a produção de leite e a venda de sementes.

Porém, as informações relacionadas a resposta do capim sudão à irrigação são escassas e contraditórias, enquanto que estudos referente a análise da viabilidade técnico econômica para a atividade pecuária são inexistentes para todo território nacional, sendo essa fundamental para a sustentabilidade da atividade e para a maximização dos lucros e da produção.

Nesse contexto o presente estudo foi desenvolvido direcionado principalmente aos pequenos pecuaristas, uma vez que nessas propriedades são frequentes o uso da irrigação por aspersão convencional, e são nessas áreas principalmente onde a produção pecuária necessita maior aproveitamento e intensificação do uso da área.

Diante do atual cenário, faz-se necessária a pesquisa neste tema, afim de permitir ao produtor tomar decisões fundamentadas em dados relativos ao desempenho da forrageira, custo e incremento de produção com o uso da irrigação e identificação das lâminas de água que conduzem à máxima eficiência técnica.

2. OBJETIVOS

Neste capítulo será apresentado o objetivo geral e os objetivos específicos para esta pesquisa.

2.1 OBJETIVO GERAL

Definir as características biométricas, funções de produção, eficiência do uso da água para a cultura do capim sudão (BRS Estribo), quando irrigado sob diferentes regimes hídricos, assim como, determinar a viabilidade técnica econômica da implantação da irrigação por aspersão convencional, para a produção forrageira destinada à pecuária de corte.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar qual lâmina de irrigação apresenta a máxima eficiência técnica e a respectiva necessidade hídrica da cultura;
- b) Quantificar os custos de produção da cultura, relacionados e não relacionados à irrigação;
- c) Definir as seguintes características biométricas: relação folha/colmo, diâmetro de colmo, altura de inserção da última folha e altura total de plantas na cultura do capim sudão, quando submetido à diferentes lâminas de irrigação;
- d) Avaliar o aumento do custo e seu respectivo incremento em produtividade para o sistema irrigado em relação ao não irrigado;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo a revisão dos principais temas desse trabalho, serão descritos os aspectos gerais sobre a cultura do capim sudão, manejo da irrigação, irrigação em pastagens, função de produção e a viabilidade econômica, possibilitando melhor entendimento sobre as práticas de manejo, bem como informações relevantes sobre os custos e a lucratividade da atividade.

3.1 A CULTURA DO CAPIM SUDÃO.

O capim Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) é originário do sul do Egito e Sudão, sendo introduzido aos EUA em 1909, e, posteriormente, para América do Sul. É uma cultura de ciclo anual, pode atingir até 3 metros de altura, diâmetro de colmos entre 3-9 mm, colmos eretos, numerosos e estriados. Com folhas longas e largas, glabras, e nervura central com coloração esbranquiçada na parte superior da folha, lígula curta, inteira e branquicenta (ARAÚJO, 1972; BOGDAN, 1977), como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Cultura do capim sudão (40 dias após a semeadura e 20 dias após primeiro corte).



Fonte: Arquivo pessoal

É bem adaptado ao clima quente e temperado, sendo exigente em temperatura, tanto do solo quanto do ar, apresentando respostas significativas quando irrigado (BOGDAN, 1977), embora possua elevada resistência à seca, produzindo forragem de qualidade quando a maioria das pastagens tem seu crescimento paralisado.

O capim sudão apresenta-se como uma alternativa viável para uso e diversificação de cultivo afim de suprir a carência alimentar animal, principalmente em regiões onde ocorrem períodos de estiagens frequentes (RODRIGUES, 2002). Sua principal utilização é como pastagem, feno e/ou silagem em cultivos de primavera verão, possuindo elevado valor nutricional (BALL et al., 2007).

Visando a crescente demanda por forragem para a alimentação animal, o capim sudão vem ganhando espaço em grande parte do território brasileiro, principalmente na região sul, por apresentar facilidade de cultivo, rápido crescimento, perfilhamento e rebrota, ampla época de cultivo, que se estende de setembro à janeiro, além de possuir adequado valor nutritivo (JUFFO et al., 2012). Diante da necessidade de melhorar a nutrição animal, o capim sudão é uma alternativa recomendada devido a sua adaptação a épocas de primavera-verão e pela grande oferta de matéria verde produzida (TOMICH et al., 2006).

Como a cultura é exigente em temperatura tanto do ar como do solo, para a semeadura é necessário temperatura do solo acima de 20°C, a partir de setembro essa condição já é atendida e estende-se até meados do verão (GONTIJO et al., 2008). A semeadura em datas diferentes, espaçadas de três a seis semanas, é uma estratégia que pode ser adotada, com o intuito de melhorar a distribuição estacional de forragem, assim minimiza-se o déficit nutricional no período conhecido como vazio forrageiro outonal que ocorre no período intermediário entre o verão e outono (FONTANELI, 2009).

A semeadura da cultura pode ser realizada a lanço, ou em linha quando destinado ao pastejo. Porém, segundo Burger e Campbell, (1961) quando a semeadura é realizada a lanço alguns fatores se apresentam melhores, como é o caso da relação folha/colmo e perfilhamento. Também, de acordo com esses autores ocorre a diminuição do diâmetro de colmos na primeira colheita, porém nas colheitas subsequentes essa diferença desaparece. Seu perfilhamento é abundante e tem alta taxa de rebrote quando comparado com a grande maioria das gramíneas de verão, como sorgo, milheto, teosinto.

O pastejo do capim sudão pode ser feito com elevada taxa de lotação animal e curto espaço de tempo em relação as demais pastagens. No Rio Grande do Sul, o capim sudão tem

sido muito utilizado para formação de pastagens temporárias de verão (corte ou pastejo) (ZAGO, 1997), sendo indicado como solução para reduzir o efeito dos períodos de carência alimentar

Como citado anteriormente, a cultura apresenta resistência ao déficit hídrico, fato atribuído as características fisiológicas da cultura e também, aos cruzamentos com espécies de sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) que foram amplamente difundidos e utilizados no Brasil e EUA, com o objetivo de gerar híbridos mais resistente ao déficit e aumentar a produção de matéria seca ha⁻¹ (DOW AGROSCIENCES, 2002; GONTIJO et al., 2008).

De acordo com Silmili et al. (2010), a cultura do capim sudão tem resposta rápida à adubação nitrogenada, apresentando ganho acelerado em matéria verde como a maioria das espécies C4. Apresenta-se bem adaptado a climas quentes, produzindo grande quantidade de biomassa e possuindo capacidade de recuperação após corte ou pastejo, superior a grande maioria das gramíneas anuais (BIBI et al., 2010).

Em relação aos custos de produção, Penna et al. (2010), ressalta que a redução de custos, o aumento da produtividade e da qualidade forrageira, são premissas para o sucesso na produção animal; diante disso busca-se o emprego de plantas fisiologicamente mais eficientes no aproveitamento de luz, nutrientes e água.

Em estudo comparativo entre o milheto, milho e o capim sudão, em relação a produtividade de biomassa, habilidade no crescimento de raízes e parte aérea, Zamfir et al. (2001) reforçam a alta capacidade competitiva do capim sudão em relação aos demais, Penna et al. (2010) obtiveram produtividades de matéria verde e seca de 34,43 e 4,75 t ha⁻¹, respectivamente.

Enquanto Tomich et al. (2004) testando o potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim sudão, não constataram diferenças significativas entre os genótipos, encontrando uma produtividade média de matéria verde e seca ao longo dos cortes de 29,4 e 4,5 t ha⁻¹ respectivamente, demonstrando produtividade próxima à um híbrido, entretanto o custo de obtenção de sementes é bastante inferior.

Quando manejado corretamente, o uso de forragens como base para a alimentação bovina é vantajosa economicamente quando comparada aos concentrados (FERNANDES et al., 2008).

Assim, foi lançada em 2013 a cultivar de capim sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) BRS ESTRIBO, uma parceria entre a Embrapa e a Sulpasto, tendo em vista a carência e

a necessidade de sementes certificadas para a cultura, a qual apresenta vantagens em vários aspectos em relação à cultivar comum.

Embora o uso do capim sudão BRS ESTRIBO seja recente no Brasil, vários produtores rurais já testaram e aprovaram as vantagens da cultivar em relação as demais gramíneas de verão utilizadas (EMBRAPA, 2014).

Porém, ainda é pouco conhecido o comportamento da cultura quando irrigada, uma vez que os resultados são escassos e contraditórios e estudos sobre a viabilidade econômica da irrigação são inexistentes, ainda mais sob diferentes disponibilidades hídricas, sendo estes fatores determinantes para o sucesso da atividade, Cunha et al. (2007) relatam a importância do estudo para conhecer o comportamento da planta quando irrigada sob diferentes regimes hídricos, pois permite entender melhor o desempenho da espécie, propiciando o manejo adequado acarretando em maior lucratividade.

3.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

É considerado manejo de irrigação o método utilizado para estabelecer a quantidade de água necessária para suprir a demanda hídrica da cultura, e também, o momento ideal de irrigar. Sendo este o meio para otimizar a produção agrícola e conservar a água, é também a chave para a sustentabilidade dos sistemas de irrigação, além de assegurar seu desempenho (SANTANA et al., 2009).

Segundo Vivan (2014), a irrigação caracteriza-se através do suprimento artificial das demandas hídricas das culturas, podendo ser utilizada como a única fonte de suprimento hídrico, sendo essa denominada de irrigação total, ou ainda, utilizada apenas para complementar a precipitação, quando esta for inferior a demanda hídrica da cultura (irrigação parcial, complementar, suplementar).

Para Albuquerque (2010), o objetivo principal da irrigação é o fornecimento de água às culturas, visando o suprimento hídrico ótimo para cada fase do desenvolvimento, levando em conta que as condições climáticas locais e a disponibilidade de água no solo são fundamentais na determinação da quantidade de água aplicada.

Booker et al. (2012) afirmam que o uso da água para a produção agrícola irrigada está entre os mais importantes usos da água do mundo, pois eleva de forma significativa a produção de alimentos, quando manejada de forma adequada. Harou et al. (2009) afirmam que a irrigação é o uso da água mais intensivo em todas as partes do mundo.

Para a produção de culturas agrícolas, à água é um fator fundamental (FAGGION et al., 2009). A necessidade da otimização do uso da água para a irrigação mostra-se cada dia mais necessário, visto que o volume de água disponível para a agricultura vem diminuindo a cada ano (SINGH & PANDA, 2012), e a pressão por maiores produtividades é cada vez maior.

Diante da crescente escassez hídrica, aumentar a eficiência de aplicação da água na agricultura é fundamental, para que possamos manter a água dos rios e lagos sustentando ecossistemas e as demandas urbanas (SHARMA et al., 2015). De acordo com Campos & Fracalanza (2010), problemas sociais e ambientais de grande relevância são reflexos da utilização irracional dos recursos hídricos, os quais tem causado problemas de grande magnitude para a humanidade, seja pela disponibilidade ou pela qualidade da água.

A agricultura irrigada tem sido uma importante estratégia para otimização da produção agrícola, promovendo desenvolvimento sustentável no campo, com geração de emprego e renda (LUNA et al., 2013). O consumo hídrico de uma cultura é função direta da demanda de evapotranspiração local, do conteúdo de água presente no solo e da capacidade da planta de perder água através das folhas (SCHWAB, 2013). A falta ou excesso de água afeta de maneira direta o desenvolvimento das plantas, sendo assim, o uso racional, mantendo um fluxo de água dentro dos limites ótimos para cada cultura, é importante para o aumento da produção agrícola (REICHARDT e TIMM, 2012).

As pesquisas relacionadas à áreas agrícolas tem priorizado a máxima produtividade. Porém, em estudos levando em consideração a limitação dos recursos naturais KLOCKE et al. (2010), relatam que a irrigação deficitária pode ser considerada como alternativa para a produção sustentável, em regiões com baixa disponibilidade hídrica ou com precipitação irregular como é o caso do Rio Grande do Sul. Essa técnica consiste na aplicação de água com quantidade inferior à demanda hídrica da cultura, afetando a evapotranspiração e a produtividade. Porém, o déficit hídrico deve ser manejado até o ponto em que o retorno econômico não seja afetado (PEREIRA et al., 2012; RODRIGUES et al., 2013)

Nos últimos anos English, (1990), vem demonstrando que em alguns casos, a redução de custos com o déficit de irrigação se dá através da eficiência da irrigação aumentada e pelos custos reduzidos de irrigação. E quando o solo é um fator limitante à produção, a irrigação deficitária permite um maior retorno econômico que a irrigação completa (ENGLISH et al., 1990, 1996, 2002). As vantagens são bastante significativas, ainda mais em uma situação onde a água e/ou o solo apresentam limitações e os riscos associados são aceitáveis.

Nos períodos de escassez hídrica, onde a água é um fator limitante, a irrigação deve ser baseada no retorno econômico, e não na máxima produtividade (BLANCO et al., 2011). Diante disso, o manejo da irrigação deve ser planejado afim de manter a produtividade, e melhorar a eficiência do uso da água, garantindo a viabilidade econômica e ambiental da atividade.

Para garantir a eficiência da irrigação, a determinação do balanço hídrico do solo é fundamental, o uso de modelos torna-se essencial para irrigação, pois auxiliam na determinação da necessidade hídrica da cultura (PALARETTI, 2011; MA et al., 2013). Embora a disponibilidade de métodos de manejo da irrigação seja vasta, a grande maioria dos irrigantes não tem sido receptivos ou não tem conhecimento de métodos que utilizam racionalmente a água e conseqüentemente não adotam qualquer método em particular (MARTINS et al., 2011).

Para Figueiredo et al. (2008), o baixo custo da água para irrigação em relação ao custo de implantação de um método de manejo, é um dos fatores principais que colaboram com essa resistência por parte dos irrigantes, lembrando que o objetivo da irrigação é suprir a necessidade hídrica da cultura, aplicando somente o necessário.

Considerando as diferentes formas de aplicação de água às plantas, todos os métodos de irrigação possuem eficiência e uniformidade de aplicação distintas, diante disso, devem ser previamente estudados, para a escolha do sistema de irrigação e do manejo que melhor se adequa as particularidades do local para obtenção da produtividade desejada (SOUSA et al., 2011).

Mesmo com a modernização e melhorias nos sistemas de irrigação, que apresentam maior eficiência de distribuição de água sob diferentes cenários, se não houver um programa de manejo eficiente, a produção poderá ser comprometida. Na maioria das vezes, pelo excesso de água aplicado ou então pelo déficit hídrico causado, também o momento de aplicação nem antes e nem depois do momento adequado para cada estágio fenológico da cultura é de suma importância para atingir a produção potencial (MANTOVANI et al., 2009).

Booker et al. (2012) relataram que existem aspectos fundamentais que devem ser considerados na programação das estratégias de irrigação, tais como: o momento adequado da aplicação, o volume de água necessário para cada aplicação e o consumo hídrico total da cultura durante o seu ciclo.

Para o manejo racional da irrigação, os métodos utilizados devem ser realizados via planta, solo, clima ou pela combinação destes. Esses diferentes procedimentos são todos

baseados em medidas da quantidade de água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera (FOLHES et al., 2009).

Segundo Albuquerque e Durães (2008), é necessário o conhecimento das características físico-hídricas dos solos para a quantificação da precipitação efetiva, a qual é de suma importância para a determinação da quantidade de água a ser aplicada, visto que no Brasil quase sempre as irrigações são suplementares ao volume de água precipitado.

A precipitação efetiva pode ser calculada por meio da metodologia proposta por Millar (1978), que leva em consideração as seguintes variáveis: cobertura vegetal, declividade da área (%) e a classe textural do solo. A fim de descontar da precipitação total a fração de água perdida pelo escoamento superficial.

Diante dos vários métodos existentes para o manejo da irrigação, destacam-se os evaporímetros como os mais utilizados, como é o caso do tanque Classe A, pois além do baixo custo quando comparado à outros métodos, também apresenta a vantagem de medir a evaporação que ocorre em uma superfície da água-livre exposta à atmosfera, submetida aos efeitos integrados da radiação solar, temperatura, vento e da umidade relativa do ar (PINTO et al., 2012).

A tensiometria também é muito utilizada devido ao baixo custo e praticidade de uso, porém é necessário ficar atento quanto a amplitude dos valores medidos, pois os tensiômetros convencionais permitem leituras de tensão até cerca de 80 kPa, quando maiores as tensões, a água, sob vácuo, forma bolhas de ar dentro do sistema, parando de funcionar. Este método funciona melhor em culturas com sistema radicular pouco desenvolvido, ciclo curto e alto teor de água em sua constituição (EMBRAPA, 2008).

Outro método muito empregado é o de Penman-monteith/FAO (ALLEN et al., 2006), que necessita da utilização de estação meteorológica possuindo sensores que forneçam dados de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento e precipitação pluvial. Com base nesses fatores climáticos calcula-se a evapotranspiração de referência, a qual é a estimativa dos componentes de transpiração mais evaporação (MANTOVANI et al., 2006).

A decisão do momento de irrigar depende das condições do solo, clima e cultura. Quando o manejo é conduzido com turno de rega fixo, a lâmina de irrigação é variável, pois a quantidade de água aplicada deve suprir a demanda hídrica da cultura por um período fixo de tempo, já quando o turno de rega é variável, a lâmina é fixa, pois quando o nível de água disponível as plantas atinge determinado valor, considerado insuficiente para suprir a demanda

hídrica da cultura é aplicada a irrigação, com a finalidade de repor o volume de água considerado ótimo para a cultura (PINTO et al., 2012).

3.3 IRRIGAÇÃO EM PASTAGENS

As forragens cultivadas são comumente utilizadas como opção para minimizar a carência alimentar dos animais em pastejo, em épocas que ocorre menor produção de massa verde e menor teor nutricional devido a adversidades climáticas, onde vários fatores são preponderantes para manutenção da qualidade e produção da forragem ao longo do tempo (BANDINELLE et al., 2003).

Dentre estes fatores, pode-se destacar a irrigação como uma técnica importante para melhorar a quantidade e a qualidade da forragem produzida (ALMEIDA, 2011). Sendo esta uma alternativa viável para o aumento da produtividade, suprindo de maneira adequada a demanda hídrica da cultura, principalmente em épocas com precipitações irregulares (LOPES et al., 2011).

Alencar et al. (2009) estudando o potencial de produção de forragens irrigadas, afirmam que o uso de irrigação para a produção forrageira, principalmente em épocas secas do ano, permite expressivo aumento nos níveis de produtividade dos rebanhos, devido a maior disponibilidade e qualidade forrageira.

A evapotranspiração da cultura na região sul frequentemente é maior do que a precipitação pluvial, assim a irrigação suplementar vem para suprir o déficit hídrico recorrente nesses períodos, garantindo a produção e a rentabilidade esperada (CUNHA et al., 2008). Em pastagens cultivadas, o efeito do déficit hídrico é mais severo em relação às outras culturas, pelo fato do volume de matéria verde produzida ser o principal fator de interesse para atividade (MACHADO et al., 1983; SUTCLIFFE, 1980).

Diversos fatores possuem elevada influência na produtividade de forrageiras, diante disso para atingir a produção de massa verde esperada é necessário levar em consideração alguns fatores como a ocorrência de temperaturas baixas, baixa capacidade de armazenamento de água no solo, baixo volume de precipitações e presença de fotoperíodos indutivos, que ocorridos de forma conjunta ou isolados afetam diretamente o desenvolvimento das plantas (SILVEIRA, 2006).

O estado do Rio Grande do Sul caracteriza-se por apresentar períodos de “veranicos”, isto é, estiagens que podem, em alguns casos, comprometer a produção das culturas agrícolas

(GOMES et al., 2014). Sendo assim, no período de ocorrência das estiagens, a irrigação suplementar tem como objetivo, estabilizar e intensificar a produção de forragem, suprimindo a necessidade hídrica da cultura, quando a precipitação pluvial não satisfaz a demanda evapotranspirativa, desde que a temperatura e a luminosidade não sejam fatores limitantes (XAVIER et al., 2001).

Em áreas irrigadas, o provimento de outros insumos, além da água, é fundamental para não restringir a produção potencial da cultura (VITOR et al., 2009). Dentre esses insumos, o nitrogênio se apresenta como mais importante, devido ao efeito relevante na produtividade em gramíneas tropicais, assim a eficiência da adubação nitrogenada aliada a irrigação suplementar, torna-se uma ferramenta imprescindível para o incremento de matéria verde em pastagens (MARCELINO et al., 2003).

As pastagens são constituídas por uma população de plantas, a qual é formada por diversas hastes iniciadas em gemas contidas nos fitômeros da haste primária no início do desenvolvimento da planta. Com o aumento do número de fitômeros e seu desenvolvimento, evidenciado pela expansão foliar, engrossamento e alongamento dos nós e entrenós, ocorre o acúmulo de massa verde, porém, para que a cultura expresse seu potencial genético máximo, é necessário o suprimento hídrico adequado as suas necessidades (NABINGER, 1997).

Para realização do manejo da irrigação de forma eficiente, é indispensável o conhecimento do comportamento da cultura em relação à disponibilidade hídrica em cada estágio de desenvolvimento, de forma a manter os níveis de irrigação dentro do requerimento da cultura (GOMES et al., 2015).

Com a irrigação das pastagens, o manejo da bovinocultura de corte e leite torna-se mais simples do que em um sistema tradicional de pastejo rotacionado. Sem as flutuações na produção, devido a veranicos, o sistema torna-se mais estável, em regiões que não tem problemas de temperaturas e fotoperíodo.

Os sistemas de irrigação por aspersão convencional caracterizam-se por aplicar a água em área total, sendo particularmente recomendados para as culturas forrageiras que, quando completamente desenvolvidas, cobrem totalmente a superfície do solo. Assim, onde ocorrer a precipitação de uma gota de água proveniente de um aspersor haverá uma raiz pronta para absorvê-la. Outras importantes características associadas aos sistemas por aspersão convencional são, o controle efetivo da aplicação de água de acordo com a exigência hídrica de cada cultura; são facilmente instalados e automatizados, podendo ser instalado em qualquer

condição topográfica, reduzindo a utilização de mão de obra e facilitando a operação (SCALOPPI, 2014).

Dentre os equipamentos mais utilizados para o manejo de água recomendados para forrageiras em geral, pode-se destacar o monitoramento da condição hídrica do solo e o manejo indireto, com base em valores de coeficientes culturais e da evapotranspiração de referência, estimados por métodos como o Tanque Classe “A”, Priestley-Taylor e Penman-Monteith (LIMA et al. 2012).

3.4 FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

Os fatores de produção, segundo Arbage (2012), são os insumos que podem ser utilizados para a produção de bens e serviços (terra, capital, trabalho, tecnologia). O autor ainda relata que uma tecnologia será viável economicamente quando o aumento na produção for maior que a elevação nos custos totais relacionados à sua utilização.

Segundo Frizzone e Andrade Junior (2005) existe uma relação funcional entre a produtividade das culturas agrícolas e os fatores tecnológicos que interferem na sua produção. Ressaltando que na avaliação econômica da irrigação é necessário quantificar a produtividade em relação ao total de água aplicada em cada tratamento, sendo conhecida como função de produção Água-Cultura.

A produtividade depende diretamente do fornecimento de água, quando as condições hídricas apresentam-se ótimas a cultura expressa seu potencial produtivo, nestas condições temos a máxima eficiência técnica (MET).

Variando o volume e frequência da irrigação, tipo de solo e clima, a resposta à irrigação é diferente na maioria das vezes. A condição ambiental interfere diretamente na produtividade das culturas, apresentando uma relação funcional entre os fatores de interferência (FRIZZONE J. A., e ANDRADE JUNIOR A. S., 2005).

A função de produção pode ser expressa com a variável independente água (mm) como sendo a lâmina aplicada durante o ciclo da cultura. Vaux e Pruitt (1983) e apud Frizzone J. A., e Andrade Junior A. S. de, (2005) relatam que para determinar as produtividades físicas da água as quais são utilizadas nas análises econômicas é necessário determinar as funções de produção.

Para determinar a sustentabilidade técnica e econômica, necessita-se de análise dos níveis de produção em relação à quantidade do insumo a ser aplicado para alcançar aquele nível de produção almejado (GOMES et al., 2013).

Com a introdução da irrigação em sistemas de produção, há um aumento do custo de produção, o qual deve ser inferior ao lucro adicionado com o ganho em produtividade proporcionado pelo aporte hídrico, para que a implantação da irrigação seja viável. A determinação da curva de crescimento, bem como, das funções de produção das culturas, em resposta aos diferentes níveis de irrigação, são de grande importância para o planejamento e implantação da irrigação (DOORENBOS, J.; KASSAM, A. M., 1994).

3.5 CUSTO DE PRODUÇÃO

De acordo com Menegatti e Barros (2007), o cálculo do custo de produção deve considerar os diferentes níveis tecnológicos abrangendo todas as condições de cultivo, sendo estes custos classificados como fixos e variáveis.

3.5.1 Custos fixos

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2010), custos fixos são aqueles em que as quantidades de insumos não são alteradas em função do aumento ou decréscimo da quantidade de produto.

Para Frizzone (2007), os custos fixos de um sistema de irrigação são do tipo amortizáveis e não amortizáveis. Os custos fixos amortizáveis compreendem a depreciação do sistema de irrigação e os juros sobre o volume de capital investido. O procedimento mais utilizado para calcular os custos fixos amortizáveis (depreciação + juros do capital investido) consiste em determinar um valor constante em cada ano de vida do projeto.

Os custos fixos não amortizáveis são os de manutenção, ou seja, os necessários para manter o sistema de irrigação em bom estado de funcionamento. Compreendem os gastos com conservação, reparação e renovação de elementos deteriorados. Esses gastos se estimam como uma percentagem média do investimento inicial (FRIZZONE, 2007).

3.5.2 Custos variáveis

São aqueles em que as quantidades de insumos acompanham a alteração do volume de produção (CONAB, 2010). Esses custos, de acordo com Frizzone (2007) referem-se à mão de

obra, custo da energia utilizada para operar o sistema de irrigação, bem como, em alguns casos, o custo da água utilizada para a irrigação.

A cobrança pelo uso da água está começando a ser realizada em algumas bacias hidrográficas do Brasil. Segundo Kelman e Ramos (2005) o custo atribuído a água é composto de: uma parcela referente ao custo com capital para projetar e instalar a infraestrutura necessária para armazenamento e condução da água; outra com operações e manutenção destas represas e sistemas de bombeamento; com o custo de oportunidade; e ainda uma parcela referente aos danos ambientais gerados. Os autores citam que o pagamento pelo uso da água gera benefícios sociais, econômicos e ambientais, os quais não são convenientes apenas aos usuários, mas também por outros setores da sociedade.

3.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

A resposta das culturas à irrigação em relação a produtividade, depende de alguns fatores como: método de aplicação, estágio de desenvolvimento da cultura, quantidade e frequência da irrigação, fertilizantes aplicados, tipo do manejo, cultivar utilizada, época de corte, metodologia de colheita, pragas e doenças, variabilidade do solo, clima. Diante disso, é importante identificar qual manejo apresenta melhor resultado em relação a viabilidade econômica para a formação e condução de pastagens irrigadas. É importante delimitar a região de produção racional que mostre as diversas combinações dos fatores e dos respectivos rendimentos (FRIZZONE, 1993).

Também é importante determinar a possível produtividade da cultura, e qual a lâmina de irrigação necessária para obter a produção esperada, para que seja possível obter a viabilidade econômica da atividade. Os modelos agrometeorológicos possibilitam a previsão das necessidades hídricas das culturas e a análise econômica da utilização da irrigação. Para planejamento, esses modelos permitem a tomada de decisão sobre a implantação ou não de sistemas de irrigação, uma vez que fornecem a demanda hídrica das culturas e possibilitam determinar os rendimentos esperados (VAUX e PRUITT, 1983; FRIZZONE et al., 2005).

Vivan (2014), justificou a utilização de sistemas de irrigação, através da grande variabilidade climática, apresentada ao longo dos anos, trabalhando com as culturas do milho, feijão e soja, observou que ocorreu uma queda de mais de 50% do potencial produtivo em 40% dos anos simulados, diante disso, a autora expõe uma tendência de descapitalização dos produtores, em decorrência das quebras de produtividade.

Diante dos custos considerados elevados para a irrigação, é importante que seu uso seja bem planejado, afim de obter altas produtividades em relação ao não irrigado, intensificando assim a produção animal. Porém além da irrigação, também é de suma importância o conhecimento sobre manejo de pastagens e animais, escolhendo raças que melhor se adequam as exigências locais, e apresentam alto potencial produtivo, ou seja, deve existir a capacidade gerencial (SOARES et al., 2015). Ainda segundo o autor, a análise econômica é fundamental para avaliar a sustentabilidade das empresas rurais que utilizam irrigação de pastagens.

Alguns fatores importantes a serem analisados que impactam nos custos quando trata-se de irrigação são: perdas de água, gastos com energia elétrica, custo e disponibilidade de mão-de-obra para manuseio dos equipamentos. Estes custos estão relacionados à área a ser irrigada, número de horas irrigadas por dia, potência instalada por hectare, preço da compra do equipamento de irrigação, incluindo todos os seus componentes (bomba, tubo gotejador, válvulas, motor etc.), bem como com a vida útil dos componentes do sistema de irrigação.

Embora o crescimento da atividade resulte, em geral, em aumento do uso da água, diversos benefícios podem ser observados, tais como o aumento da produtividade, a redução de custos unitários, a atenuação de riscos climáticos/meteorológicos e a otimização de insumos e equipamentos. A irrigação também é fundamental para o aumento e a estabilidade da oferta de alimentos e conseqüente aumento da segurança alimentar e nutricional. Do ponto de vista do uso racional da água, exigências legais e instrumentos de gestão, como a outorga de direito de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso, fomentam a sustentabilidade da atividade, o aumento da eficiência e a conseqüente redução do desperdício.

Dentre os benefícios da irrigação deve-se ressaltar também a possibilidade da aplicação de agroquímicos e fertilizantes através do mesmo equipamento, o aumento na oferta e na regularidade de alimentos e outros produtos agrícolas; atenuação do fator sazonalidade climática e dos riscos de produção associados; preços mais favoráveis para o produtor rural; maior qualidade e padronização dos produtos agrícolas; abertura de novos mercados, inclusive no exterior; produção de sementes e de culturas nobres; elevação da renda do produtor rural; regularidade na oferta de empregos; modernização dos sistemas de produção, estimulando a introdução de novas tecnologias; plantio direto com sementes selecionadas; e maior viabilidade para criação de polos agroindustriais (ANA & EMBRAPA, 2016; MENDES, 1998).

A irrigação deficitária é considerada uma técnica de manejo capaz de melhorar a eficiência na utilização da água e a viabilidade econômica da atividade, consiste na aplicação

de lâminas de água inferiores às necessárias para satisfazer às demandas hídricas das culturas, afetando assim, a evapotranspiração e a produtividade, entretanto, mesmo com a redução da produtividade o retorno econômico pode ser maximizado. Os impactos da irrigação deficitária sobre a produtividade e suas relações com os resultados econômicos podem ou não serem positivos, dependendo do manejo da irrigação adotado o desempenho do sistema e os custos de produção (LORITE et al., 2007).

As investigações sobre a irrigação com déficit hídrico têm permitido um aumento da eficiência do uso da água, pois a adoção de estratégias neste sentido pode ser capaz de reduzir a quantidade de água aplicada, causando um mínimo impacto na produção. Os benefícios potenciais da irrigação com déficit são atribuíveis a três fatores: aumento da eficiência da irrigação, redução dos custos de irrigação e redução de riscos associados aos impactos ambientais (ENGLISH e NAVAIID, 1996).

Atualmente, existem modelos de produção/água que permitem estimar a produção da cultura em função da água por ela utilizada, fato que tem despertado grande interesse de pesquisas pelo importante papel que podem desempenhar para auxiliar na gestão e otimização de recursos hídricos, sendo imprescindível quando se pretende realizar a gestão da irrigação em condições de déficit hídrico de modo eficiente.

Nos critérios tradicionais de manejo de irrigação procura-se à máxima produção agrônômica, independentemente da quantidade de água utilizada, tendo em vista que para a maioria das áreas irrigadas no Brasil a água não é um fator limitante e atualmente não entra no custo de produção (PAZ et al., 2000). Neste contexto, é importante relacionar a produtividade das culturas com o volume de água consumida para esta produção. Introduce-se assim o conceito de produtividade da água, que no caso da irrigação pode ser relacionado ao total de água utilizado pela cultura (precipitação + irrigação) ou somente a água utilizada na irrigação.

A conservação e a economia de água desempenham papel fundamental para conviver com períodos de escassez (PEREIRA et al., 2002), sendo que, a irrigação deficitária pode constituir uma tecnologia apropriada para a maximização da viabilidade econômica e a economia de água, pois a irrigação em excesso leva a um desperdício de água, queda na produção, aumento dos custos de produção e a uma gestão inapropriada dos recursos hídricos disponíveis.

4. MATERIAL E METODOS

No presente capítulo serão apresentadas e caracterizadas as técnicas e os métodos utilizados durante o trabalho, assim como as informações relativas a localização e caracterização experimental, planejamento, implantação e condução, estudo do custo fixo e variável da irrigação, estudo da viabilidade econômica para a implantação da irrigação, também serão apresentados os referenciais utilizados para execução das atividades.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA AREA EXPERIMENTAL

Os estudos experimentais foram realizados nas safras de 2015/2016 e 2016/2017, na Universidade Federal de Santa Maria, na área experimental do colégio politécnico, situado geograficamente nas coordenadas 29°31' S e 49°19' O, apresenta altitude média de 96 m, localiza-se na Região Central do estado do RS.

A região apresenta clima temperado apresentando característica subtropical com inverno bem definido, caracterizado pela classificação de Köppen-Geiger, no tipo Cfa (Clima subtropical úmido).

As características físico-hídricas do solo foram determinadas pela coleta de amostras em diferentes profundidades (0 – 20, 20 – 40, 40 – 60, 60 – 80 e 80 – 100), com três repetições por profundidade, considerando o ponto médio de cada profundidade como o local representativo da amostra. Na Figura 2 pode ser observado o perfil do solo da área experimental.

Figura 2- Coleta de amostras para a caracterização físico-hídrica do solo.



Fonte: arquivo pessoal.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para as seguintes análises: densidade do solo e de partícula, curva característica de água no solo e condutividade hidráulica.

A densidade de partícula foi determinada através do método do balão volumétrico proposto por Gubiani et al. (2006), enquanto que as outras variáveis por metodologia proposta pela Embrapa (1997). Nas Tabelas 1 e 2 está representada a caracterização físico-hídrica do solo.

Tabela 1 - Características físicas do solo Argissolo Amarelo eutrófico típico, valores médios de três repetições.

Prof. da amostra	Distribuição granulométrica			Classe textural
	Areia	Silte	Argila	
Cm	%			
0-20	37,91	41,95	20,14	Franco
20-40	32,27	38,3	29,44	Franco argiloso
40-60	27,71	26,16	46,13	Argiloso
60-80	16,2	28,86	54,94	Argiloso
80-100	17,98	42,16	40	Argilo siltoso

A densidade do solo (D_s), densidade de partícula (D_p), macroporosidade, microporosidade e a porosidade total do solo nas diferentes profundidades analisadas estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Densidade do solo (D_s), de partículas (D_p) e porosidades (macro, micro e total), nas diferentes profundidades, pra os solos das duas áreas experimentais (médias de três repetições).

Profundidade	Densidade		Porosidade		
	D_s	D_p	Macro	Micro	Total
Cm	$g\ cm^{-3}$		%		
0-20	1,32	2,5	14,48	32,99	47,47
20-40	1,34	2,53	9,71	37,92	47,22
40-60	1,33	2,54	8,09	39,63	47,73
60-80	1,29	2,55	3,95	45,49	49,43
80-100	1,29	2,57	6,11	43,68	49,79

Em que: D_s é a densidade do solo, D_p é a densidade de partículas

As umidades volumétricas do solo foram determinadas nos potenciais matriciais de 0, -1, -6, -10, -100 e -1500 kpa. Onde as tensões de 0, -1, -6 e -10 kpa foram determinadas através da utilização de mesa de tensão, enquanto que a umidade do solo na tensão de -100 kpa foi determinada através de placa porosa em panela de pressão, utilizando a metodologia da Câmara de Richards (EMBRAPA, 2011), e na tensão de -1500 kpa com a utilização de WP4, os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Umidade volumétrica das amostras sob diferentes tensões de água no solo (Argissolo Amarelo eutrófico típico), nas diferentes profundidades analisadas.

Profundidade	Umidade Volumétrica %					
	0	1	6	10	100	1500
cm	kPa					
0-20	40	33	30,1	26,7	24,1	13,5
20-40	42,7	37,5	34,1	30,9	28,2	16,2
40-60	43,9	39,6	37,3	34,8	32,1	22,7
60-80	48,8	45,5	44	41,5	38,8	27
80-100	47,1	43,7	42	39,7	36,9	26

Utilizando as constantes hídricas, tais como, Capacidade de Campo (CC), Ponto de Murcha Permanente (PMP) e densidade do solo (Ds), é possível calcular a disponibilidade total de água no solo (DTA) em cada uma das profundidades analisadas, determinando a quantidade total de água disponível às plantas.

Considerou-se como CC a umidade do solo na tensão de -33 kpa e para determinação do PMP a umidade volumétrica na tensão de -1500 kpa, a profundidade considerada do sistema radicular foi de 0,5 m e o fator de depleção de água no solo 0,6, considerando dados obtidos no manual da FAO, para a pastagem em pastoreio rotacionado (ALLEN et al., 2006).

Para a determinação do consumo hídrico, considerou-se evapotranspiração de referência (ET_o) de 5,55 mm dia⁻¹ (RADIN et al., 2003) e um coeficiente de cultura (kc) igual a 1,00 (ALLEN et al., 2006), sendo a Evapotranspiração máxima (ET_m) de 5,55 mm dia⁻¹. Conhecendo a Capacidade Real de Água no solo (CRA) e o consumo hídrico das plantas, pode-se obter o Turno de Rega entre as irrigações (TR), o qual pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Disponibilidade Total de Água no Solo (DTA), Capacidade Total de Água no Solo (CTA), fator de depleção (f), Capacidade Real de Água no Solo (CRA), Irrigação Real Necessária (IRN), Irrigação Real Necessária Total acumulada (IRN Total), Evapotranspiração de Referência máxima (ET_o), Turno de Rega (TR).

Profundidade	DTA	f	CTA	CRA	IRN	IRN Total	ET _o	TR
cm	mm cm ⁻¹				mm			dias
0 20	1,3		25	15	15			
20 40	1,4	0,6	27,9	16,7	16,7	38,6	5,55	7
40 50	1,1		11,4	6,8	6,8			

É fator limitante em projetos de sistemas de irrigação a velocidade de infiltração de água no solo (VIB) para a determinação da taxa de aplicação de água, pois é necessário que a taxa de aplicação de água do sistema de irrigação seja inferior a Velocidade Básica de infiltração de água no solo, para que não ocorra escoamento superficial, conseqüentemente erosão do solo, sendo parte da água aplicada perdida, assim como os nutrientes.

Através de infiltrômetros de anéis concêntricos foi determinado o volume de água infiltrada em relação ao tempo, sendo realizadas avaliações em quatro locais distintos da área experimental.

A velocidade de infiltração é determinada pela variação do volume de água infiltrada por intervalo de tempo. A velocidade básica de infiltração (VIB) é o valor da velocidade de infiltração que tende a ser constante em relação ao tempo, sendo esta metodologia proposta por BERNARDO et al. (2005), o valor observado no presente estudo foi de 15 mm h^{-1} .

Foram coletadas amostras de solo de 0 – 10 cm, em 20 pontos da área experimental, para a determinação das características químicas do solo, como mostra a Tabela 5, sendo dividida a área em pequenas glebas para a coleta de amostras simples, posteriormente foram misturadas para compor a amostra completa, logo após foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Químicas dos Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para posterior interpretação e recomendação da adubação a ser realizada no local, considerando um sistema de plantio direto consolidado.

Tabela 5 - Laudo químico do solo.

Prof. (cm)	pH	M.O	Argila	Teor Trocável $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de Solo							Saturação		
	H ₂ O (1:1)	m v^{-1}	CTC pH7	K	Ca	Mg	Al	H + Al	P- Mehlich	SMP	Al	V	
		%		cmolc dm^{-3}						mg dm^{-3}	%		
0-10	6,2	2,3	24,0	10,9	0,37	5,6	2,5	0,0	2,5	11,8	6,5	0	77,3

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro repetições, onde foram utilizadas cinco diferentes lâminas de irrigação suplementar, sendo elas (25%, 50%, 75%,

100% e 125% da evapotranspiração de referência), mais o tratamento testemunha, totalizando vinte e quatro tratamentos.

A área experimental utilizada possui tamanho total de 3200 m², medindo 100 x 32 m, sendo dividida em 72 unidades experimentais com dimensões de 4,00 x 4,00 m, sendo que para esse estudo foram utilizadas 24 parcelas.

4.3 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Foi utilizado um sistema de irrigação do tipo aspersão convencional constituído por uma linha principal medindo 100 metros e vinte e quatro linhas laterais medindo 32 metros, ambas de PVC. Os espaçamentos das linhas laterais foram de 4 m. Os aspersores foram conectados a essas linhas com espaçamento de 4 m e elevação de 1,5 m em relação ao solo. Os aspersores utilizados foram da marca AGROJET, modelo P5.

Variando o tempo de irrigação nas diferentes parcelas, foram obtidas cinco diferentes lâminas de aplicação. Adotando-se a lâmina intermediária como 100% da ETo, obtida após o teste de uniformidade de Christiansen (CUC) como mostra a Figura 3, lâminas ajustadas e calibradas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125 % da evapotranspiração de referência (ETo).

Figura 3 - Sistema de irrigação por aspersão convencional utilizado, durante o teste de uniformidade de Chirstiansen (CUC).



Fonte: arquivo pessoal

O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração de referência, com turno de rega fixo de sete dias, quando a precipitação pluviométrica não supriu a demanda evapotranspirativa da cultura.

Para a determinação da ET_o , foram coletados dados, com a utilização de estação meteorológica automática afiliada no INMET localizada na UFSM a aproximadamente 2 km do local do experimento, onde diariamente foram monitorados fatores de: precipitação pluvial (mm), temperatura ($^{\circ}C$), umidade relativa do ar (%), radiação solar ($w\ m^{-2}$), fotoperíodo (horas) e velocidade do vento ($m\ s^{-1}$), possibilitando o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith.

Considerando que o aporte de água para a cultura é proveniente da precipitação e da irrigação, se faz necessário descontar do volume total a ser aplicado na irrigação o valor referente à precipitação pluvial efetiva (Pe), então para calcular a necessidade hídrica foi utilizada a seguinte equação:

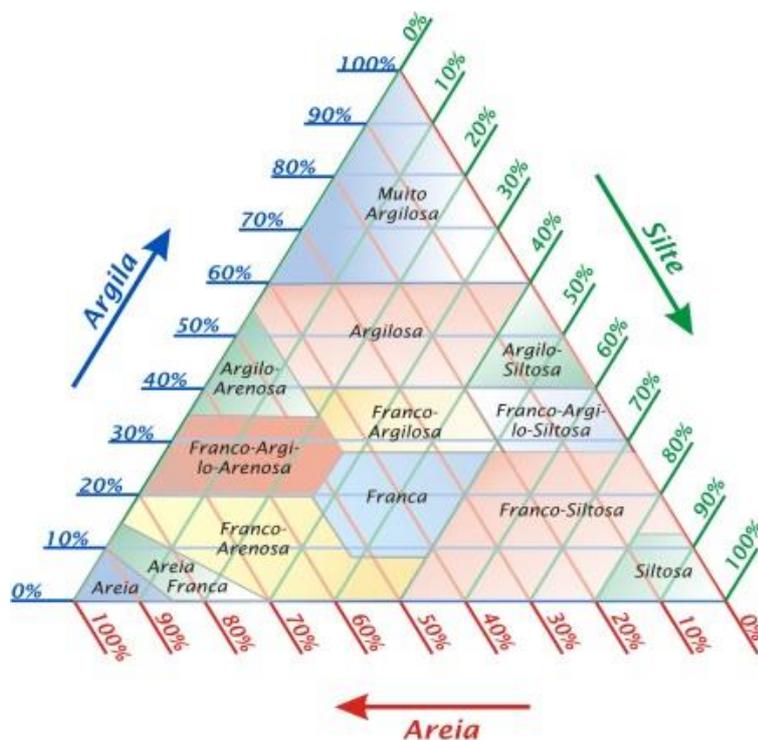
$$N_r = ET_o - Pe \quad (1)$$

Onde: N_r - Necessidade de irrigação (mm); ET_o - evapotranspiração de referência (mm); Pe - precipitação pluvial efetiva (mm).

A determinação da precipitação efetiva foi calculada através do coeficiente de escoamento superficial “C”, metodologia proposta por Millar (1978), que utiliza como parâmetros necessários para o cálculo as seguintes variáveis: classe textural do solo, declividade da área (%) e a cobertura vegetal. Sendo as condições da área experimental: solo franco, com declividade de 0 – 5 %, cultivado com pastagens, o qual apresentou um escoamento superficial de 30%.

Para a determinação da classe textural foi utilizada a metodologia do triângulo textural como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Diagrama utilizado para a classificação textural do solo.



Fonte: FALKER- <http://www.falker.com>.

Os valores para entrada no triângulo foram obtidos através da determinação da estimativa dos percentuais das frações de areia, silte e argila presentes no solo (RAIJ, 1991).

Para a determinação do tempo de irrigação, utilizou-se a lâmina com 100% da ETo como referência, sendo ajustado o tempo da irrigação em cada lâmina proporcionalmente à necessidade de cada tratamento testado.

$$TI = LN / TA \quad (2)$$

Onde: TI é o Tempo de irrigação (h), LN é a Lâmina necessária (mm) e TA é a Taxa de aplicação de água do sistema de irrigação (mm/h).

4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A limpeza da área experimental foi executada com controle químico, por meio da dessecação das plantas que encontravam-se no local, realizado 25 dias antes da semeadura do capim sudão, objetivando a eliminação de todas as plantas existentes na área experimental.

Foram utilizados dois herbicidas de grupos de atuação diferentes, visando a maior eficiência no controle das plantas daninhas, sendo eles o Glifosato na dosagem comercial de $2,5 \text{ l ha}^{-1}$ (1200 g l^{-1} de ingrediente ativo- i.a.) e 2,4-D na dosagem de $1,5 \text{ l ha}^{-1}$ (1005 g l^{-1} de ingrediente ativo- i.a.).

O capim sudão foi semeado em novembro de cada ano, com uma densidade de semeadura de 25 sementes por metro linear, através de uma semeadora-adubadora de parcelas como mostra a Figura 5. Sendo considerado para a definição da data de emergência o momento que 50% das plântulas estavam visíveis acima do solo. A cultivar de capim sudão utilizada para ambas as safras foi o BRS ESTRIBO.

Figura 5 - Semeadura do capim sudão.



Fonte: arquivo pessoal

A fertilização nitrogenada foi realizada de modo fracionado, sendo uma parte na semeadura, posteriormente no início do perfilhamento e após cada corte de uniformização realizado, aos 50 e 80 dias após a semeadura (DAS), para a determinação da quantidade aplicada, foi considerado o teor de matéria orgânica apresentado no laudo químico do solo, sendo aplicado de forma homogênea em todos os tratamentos em cada época 160 kg ha^{-1} de ureia.

A aplicação de defensivos agrícolas (fungicidas, herbicidas e inseticidas) foram realizados de forma abrangente e homogênea em toda área experimental, aplicados preventivamente, ou quando as plantas apresentavam os primeiros sinais de dano, ou em função

do aparecimento de plantas daninhas, objetivando eliminar a interferência destes fatores na área experimental.

Para a quantificação e avaliação da produtividade foi seguido a recomendação do fabricante da semente, sendo realizado em três cortes de uniformização aos 50, 80 e 110 DAS.

A eficiência de uso da água (EUA) foi determinada pela relação entre o total de água aplicado em cada tratamento de irrigação durante o decorrer do experimento, sendo a água aplicada em cada tratamento o somatório entre a precipitação pluviométrica efetiva e a quantidade aplicada por meio da irrigação suplementar em cada parcela, e o total de massa seca obtido nos períodos de avaliação (cortes) durante todo experimento.

4.5 VARIÁVEIS ANALISADAS

4.5.1 Produção de massa seca

Para quantificação desta variável foi analisado semanalmente o desenvolvimento da cultura durante os três cortes de uniformização, com o objetivo de determinar a produtividade de massa seca (MS). Para isso, foram coletadas três amostras de 0,5 metro linear cada amostra, por parcela, à uma altura de 15 cm de altura em relação ao solo, num total de 72 amostras à cada corte.

Após as coletas as amostras foram processadas manualmente, e avaliadas em duas frações, sendo elas: folha e colmo, como mostra a Figura 6, posteriormente levadas para estufa com circulação forçada de ar à 65°C onde foram secas por 72 horas, ou até peso constante, e em seguida pesadas em balança de precisão para determinação percentual da participação de cada componente da amostra em kg ha^{-1} de MS.

4.5.2 Relação folha/colmo

A relação folha/colmo foi determinada por meio da relação entre a massa seca de folhas e de colmos como mostra a Figura 6, sendo verificada nas respectivas datas de corte da forrageira, essa variável caracteriza a qualidade e a palatabilidade forrageira, uma vez que o maior volume de folhas em relação aos colmos apresenta melhores valores nutricionais e acarreta maior consumo pelos animais, possibilitando maior ganho de peso.

Figura 6 - Separação das frações de folhas e de colmos.



Fonte: arquivo pessoal.

4.5.3 Diâmetro e altura de colmos

Estas variáveis foram analisadas conjuntamente nas épocas dos corte de uniformização (50, 80 e 110 DAS). Foi utilizado um paquímetro digital para a quantificação do diâmetro de colmos, onde foram medidos diâmetros de três plantas aleatórias da amostra de 0,5 metro linear, sendo as medidas efetuadas nos dois sentidos devido ao formato oval do colmo, com o intuito de quantificar o incremento gerado pelos diferentes tratamentos de irrigação testados, e também, conhecer o comportamento desta variável após os cortes de uniformização efetuados, pois existe uma relação entre o diâmetro de colmos e a relação folha/colmo, influenciando diretamente na qualidade das pastagens e também na quantidade de forragem ingerida pelos animais. O ponto de tomada das medidas foi na altura de inserção da primeira folha como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Determinação do diâmetro de colmos com paquímetro digital.



Fonte: arquivo pessoal.

Para determinação da altura de colmos foi utilizado trena métrica, para a quantificação da distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da lígula da última folha como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Determinação da altura de colmo.



Fonte: arquivo pessoal.

4.5.4 Altura de plantas

As avaliações iniciaram-se aos 50 DAS e posteriormente em cada corte de uniformização, foram avaliadas três plantas aleatórias de cada amostra composta de 0,5 metro linear. A sua determinação foi realizada com o auxílio de trena métrica, medindo a distância entre a superfície do solo e o final da última folha visível (Figura 9).

Figura 9 - Quantificação da altura de plantas.



Fonte: arquivo pessoal.

4.5.5 Análise e interpretação dos dados

Os resultados foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância pelo software R pacote Exp des (FERREIRA et al., 2014) em nível de 5% de probabilidade de erro, quando observado efeitos significativos os resultados foram submetidos à análise de regressão para as variáveis quantitativas e análise pelo método de Tukey para as variáveis qualitativas, foram feitos os testes de homogeneidade de variâncias e de normalidade dos resíduos, para a elaboração das imagens gráficas utilizou-se o software SIGMAPLOT 12.0.

4.5.6 A viabilidade econômica da irrigação

Diante dos custos da implantação da cultura e seus respectivos rendimentos (irrigado e não irrigado), foi possível determinar o custo de produção para ambas as condições, tendo em vista que com a utilização da irrigação ocorreu um acréscimo no custo de produção, mas também acarretou o incremento da mesma.

Para determinar a viabilidade econômica do capim sudão irrigado, foram comparadas as produções nos diferentes tratamentos testados pela relação custo/benefício, afim de

determinar qual tratamento apresentou o maior retorno econômico diante dos diferentes aportes hídricos.

Para determinar a MET, os dados de produtividade encontrados para as diferentes lâminas de irrigação foram submetidas a análise de regressão do tipo polinomial de segundo grau conforme sugerido por Frizzone e Andrade Júnior (2005), na qual:

$$y = c + bx + ax^2 \quad (3)$$

Onde: y é a produtividade da forrageira (kg ha^{-1}); x é a necessidade hídrica das cultura (NHC); a , b e c - parâmetros da equação.

Os parâmetros da equação 3 (a , b e c) foram determinados a partir do ajuste dos valores simulados de ganho animal, em função da massa seca produzida em relação as lâminas de irrigação testadas.

A necessidade hídrica da cultura foi obtida pela seguinte expressão:

$$\text{NHC} = \text{Pe} + \text{I} \quad (4)$$

Onde: NHC – Necessidade hídrica da cultura (mm); Pe – Precipitação pluvial efetiva (mm), variando de 0 até a NHC; I – Irrigação (mm).

4.5.6.1 Máxima eficiência técnica (MET)

Para determinar a produtividade máxima em relação à lâmina de irrigação aplicada, determinou-se a raiz da derivada primeira da Equação 3, em relação a X , igualando-se o resultado a zero, apresentado nas Equações 5 e 6.

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = b + 2cx \quad (5)$$

$$X_{\text{met}} = -0.5 b/cx_{\text{met}} \quad (6)$$

Onde: x_{met} - lâmina que resulta na máxima produtividade física (mm).

4.5.6.2 *Máxima eficiência econômica (MEE)*

A máxima eficiência econômica (MEE) corresponde a lâmina de irrigação que apresenta o maior retorno econômico líquido, levando em consideração os custos fixos e variáveis relacionados e não relacionados a irrigação. Porém, considerando que não há cobrança pelo uso da água na região do estudo, o valor da água não foi considerado, assim como o valor de armazenamento. Para determinação da MEE foi utilizado o modelo da receita líquida ou lucro líquido (RL), representado pela equação 7:

$$RL = RB - CNRI - CFRI - CVRI \quad (7)$$

Onde: RL é a receita líquida (R\$ ha⁻¹), RB é a receita bruta (R\$ ha⁻¹), CNRI é o custo não relacionado à irrigação (R\$ ha⁻¹), CFRI é o custo fixo relacionado à irrigação (R\$ ha⁻¹), CVRI é o custo variável relacionado à irrigação (R\$ ha⁻¹).

A raiz da derivada primeira da equação 5 em relação à lâmina de água aplicada permite obter a lâmina de irrigação que corresponde à máxima eficiência econômica, ou seja:

$$dL/dx = (b + 2cx) \cdot Pp - Cvri \quad (8)$$

$$xmee = -0.5b/c + 0.5b/c \cdot Cvri/Pp \quad (9)$$

Onde: xmee – lâmina que corresponde à máxima eficiência econômica (mm); Pp – preço de venda do produto (R\$ kg⁻¹).

Os custos da irrigação foram divididos em: Custo Fixo que corresponde a depreciação do equipamento ao longo dos anos de utilização, e Custo Variável que corresponde a energia gasta para aplicar a quantidade de água requerida pela cultura ao longo do ciclo, a fim de se obter a MET.

Os custos não relacionados à irrigação (CNRI) foram obtidos por meio de levantamento à campo. Sendo composto de todas as operações e insumos utilizados como o número de horas-

máquina, número de homens dia⁻¹, preparo de solo, sementes, semeadura, herbicidas e pesticidas.

Por meio da análise do projeto de irrigação, foram determinados os custos da irrigação, levando em consideração a aquisição dos equipamentos de irrigação convencional, assim como a taxa de aplicação (mm h⁻¹) e a potência do motor (kW h⁻¹) utilizado.

Considera-se o custo de aquisição do sistema depreciado ao longo de sua vida útil como sendo o custo fixo da irrigação (R\$ ha⁻¹), pois independente de sua utilização o custo da depreciação sempre estará incutido, desde a aquisição do equipamento até o final da sua vida útil. Desta forma, o custo fixo relacionado à irrigação (C_{FRI}), foi obtido pelo valor de compra dos equipamentos do sistema de irrigação por aspersão convencional, dividido pela vida útil dos materiais e pela área irrigada.

Os custos de depreciação dos componentes do sistema (DC) e dos juros sobre o capital investido (JC) foram calculados utilizando as equações 10 e 11 (FERNANDES; SANTINATO; FERNANDES, 2008), nas quais:

$$DC = \frac{[(VAC) - (0,2 VAC)]}{VU} \quad (10)$$

Onde: DC - depreciação do componente do sistema (R\$); VAC - valor de aquisição do componente (R\$); 0,2 VAC - valor residual ou de sucata (R\$); VU - vida útil (anos).

O custo de oportunidade foi calculado conforme sugerido por Frizzone e Andrade Júnior (2005), o qual é o custo dos juros do mercado financeiro sobre o capital investido. O custo dos juros sobre o capital investido (JC) foi calculado considerando-se a taxa de 6% ao ano, aplicados sobre o valor de aquisição dos equipamentos, conforme:

$$JC = TAJ \times VAE \quad (11)$$

Onde: JC - Juros sobre o capital investido (R\$); TAJ - Taxa anual de juros (%); VAE - Valor de aquisição dos equipamentos (R\$).

Os custos variáveis relacionados à irrigação (C_{VRI}) foram obtidos pelo custo de aplicação da lâmina de irrigação e pela mão-de-obra empregada. Com a seguinte equação:

$$CVRI = Pw \cdot Ee \cdot T + Mo \quad (12)$$

Onde: CVRI - Custo variável da irrigação (R\$); Pw – Potência necessária para aplicação de um milímetro de água via irrigação em um hectare ($\text{kw ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); Ee – Custo da energia elétrica ($\text{R\$ kW}^{-1} \text{h}^{-1}$); T – Tempo de aplicação de um milímetro de água (h); Mo – Mão de obra empregada na irrigação (R\$).

A determinação da potência necessária e do custo para aplicação de um milímetro de água via irrigação foi calculado por meio dos dados coletados durante o estudo, através do monitoramento do consumo de água e energia, durante os períodos de irrigação. O custo da energia elétrica (E_e) foi obtido junto à concessionária AES Sul, considerando-se a tarifa verde, que possibilita a utilização 21 horas diárias.

O custo de mão de obra foi obtido junto a Emater-RS, sendo o valor referente a quantidade em horas das tarefas destinadas a irrigação de um funcionário rural, com todos os direitos trabalhistas pagos.

No artigo 1 publicado na revista IRRIGA, foi apresentado e discutido a produção forrageira e eficiência de utilização da água. No artigo 2 publicado no Journal of Agricultural Studies, foi apresentado e discutida a viabilidade econômica da irrigação por aspersão convencional na produção do capim sudão destinado à pecuária de corte. E no artigo 3 publicado na revista IRRIGA, foi abordada as características biométricas do capim sudão.

Artigo 1 - Publicado na Revista Irriga v. 25, n. 1, p.143-159, 2020

PRODUÇÃO FORRAGEIRA E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DO CAPIM SUDÃO SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO¹

1. RESUMO

As pastagens cultivadas são a forma mais prática e viável economicamente para alimentação bovina, entretanto, na região sul do Brasil no período de primavera-verão a qualidade e a disponibilidade forrageira decaem em razão da irregularidade pluvial, fazendo-se necessária a utilização da irrigação. O capim Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), cultivar BRS Estribo vem se destacando em relação as demais gramíneas de verão, porém o suprimento hídrico ótimo ainda é desconhecido, pois as pesquisas divergem sobre os resultados. O objetivo, foi avaliar a produtividade do capim Sudão sob diferentes lâminas e determinar a eficiência na utilização da água em dois anos de cultivo (2015/2016 e 2016/2017). Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal de Santa Maria, baixo o delineamento experimental em blocos ao acaso com cinco lâminas de água, 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência (ET_o) e tratamento testemunha sem irrigação, todos com quatro repetições. Houve diferença estatisticamente significativa para os distintos tratamentos, sendo determinado a máxima eficiência técnica para produção de massa seca e eficiência de utilização da água, no Ano 1 as lâminas de água foram 103,1% e 73,6% da ET_o respectivamente e no Ano 2 foram as lâminas com 120,8% e 95,6% da ET_o.

Keywords: evapotranspiração de referência, massa seca, BRS Estribo.

FORAGE PRODUCTION AND EFFICIENCY IN THE UTILIZATION OF WATER IN SUDAN GRASS SUBMITTED TO DIFFERENT IRRIGATION DEPTHS

2. ABSTRACT

Cultivated pastures are the most practical and economically viable way to feed cattle, however, in southern Brazil during spring-summer, forage quality and availability decline due to rainfall irregularity, irrigation is required. Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), cultivar BRS Estribo has been outstanding in relation to the other summer grasses, however the optimal water supply is still unknown, as research diverges about the results. The objective, was to evaluate the yield of Sudan grass under different depths and to determine the efficiency in the utilization of water, in two years of cultivation (2015/2016 and 2016/2017). The experiments were conducted at the Federal University of Santa Maria, under a randomized block design with five water depths, 25, 50, 75, 100 and 125% of reference evapotranspiration and control treatment without irrigation, all with four repetitions. There was a statistically significant difference for the different treatments, being determined the maximum efficiency technique for dry mass production and efficiency in the utilization of water, in Year 1 the water depths were 103.1% and 73.6% of ETo respectively, and in Year 2 were the depths with 120.8% and 95.6% of ETo.

Keywords: reference evapotranspiration, dry mass, BRS Estribo.

3. INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira destaca-se a nível mundial, pois o Brasil é o maior exportador de carne bovina (ABIEC, 2019), sendo quase a totalidade do rebanho alimentado a pasto. No país, existem cerca de 180 milhões de hectares de pastagens natural, nativa e cultivada, sendo que, a pastagem cultivada ocupa por volta de 110 milhões de hectares, justamente por ser a forma mais prática e rentável para a alimentação animal (KIRCHNER et al., 2019).

No ano de 2018, o total de área plantada com o capim Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) cultivar BRS Estribo, totalizou cerca de 600 mil hectares, sendo a maior parte

destinada a produção de carne (542 mil hectares). Possui uma vasta abrangência de uso, com destaque para o Rio Grande do Sul sendo utilizado em todas as regiões do estado, mas também apresenta importância nos estados de Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e sul da Bahia (EMBRAPA, 2018).

Na região sul do Brasil, as alternativas de cultivo de forrageiras anuais de primavera-verão são limitadas, sendo as principais culturas utilizadas o sorgo, milheto e o teosinto (FONTANELI; SANTOS; FONTANELI, 2012). Entretanto, a cultura do capim Sudão vem ganhando espaço e mostrando-se como a melhor opção, pois possui uma série de vantagens quando comparada as demais.

A cultura destaca-se pela alta qualidade nutricional, elevada produção forrageira, possibilidade de semeadura precoce, longo ciclo de produção, rusticidade, no que se refere ao estresse hídrico e as condições nutricionais de solo. É adaptada a climas secos e quentes, tendo habilidade de recuperação após o pastejo ou corte, superior as demais gramíneas anuais utilizadas (EMBRAPA, 2014; BIBI et al., 2010).

Embora a cultivar seja considerada tolerante ao déficit hídrico, deve-se tomar cuidado com períodos de estiagens prolongadas, pois a falta de água necessária para suprir a demanda da evapotranspiração da cultura (ETc), poderá comprometer a produção forrageira. O estresse hídrico causa redução na produtividade do sistema agropecuário, de forma proporcional à sua duração e intensidade (RAY et al., 2015; VIVAN et al., 2015).

Os sistemas radiculares são estruturas fundamentais para assimilação de água e nutrientes do solo, desempenhando importante papel na resistência ao déficit hídrico (SANTOS e CARLESSO, 1998). As folhas são responsáveis pela produção de fotoassimilados importantes para o desenvolvimento radicular, e ainda controlam o uso da água pela cultura através das células estomáticas, sendo o primeiro órgão da planta a refletir os sinais do estresse hídrico.

Assim, a irrigação destaca-se como uma das principais técnicas responsáveis por melhorar a qualidade e aumentar a produção forrageira. O desenvolvimento da pecuária brasileira nas últimas décadas deve-se principalmente a contribuição da irrigação para com o agronegócio, tornando-se uma estratégia respeitável para o incremento na produção (BERTOSSO et al., 2013). Diante da reconhecida importância da irrigação no processo produtivo, é necessária a avaliação do manejo da irrigação e seus benefícios em relação a produção, tornando-se fundamental a determinação da eficiência de utilização da água (EUA).

Deve-se quantificar o volume de produção levando em consideração a quantidade total de água aplicada ao longo do ciclo da cultura, visando a utilização racional dos sistemas de irrigação e possibilitando a análise econômica da atividade por meio da determinação da eficiência de utilização da água (MONTEIRO et al., 2008). Embora, a importância da cultivar BRS Estribo, seja evidente para o sistema agropecuário de diversas regiões brasileiras, na literatura são escassas e contraditórias as informações relativas à resposta da cultura quando irrigada e sua eficiência de utilização da água.

Diante da necessidade de informações sobre o comportamento da cultura em relação ao consumo hídrico e sua respectiva produtividade, assim, como da análise da eficiência de utilização da água. O objetivo do presente estudo foi avaliar a produção forrageira do capim Sudão sob diferentes lâminas de irrigação suplementar e determinar a produtividade da água para cada tratamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram realizados nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2) na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, cujas coordenadas geográficas são: 29°42'55.22" de latitude sul, 53°44'22.60" de longitude oeste e altitude de 119 metros. O clima predominante na região, segundo a escala de Koopen (WOLLMANN & GALVANI, 2012) é caracterizado como subtropical úmido (Cfa).

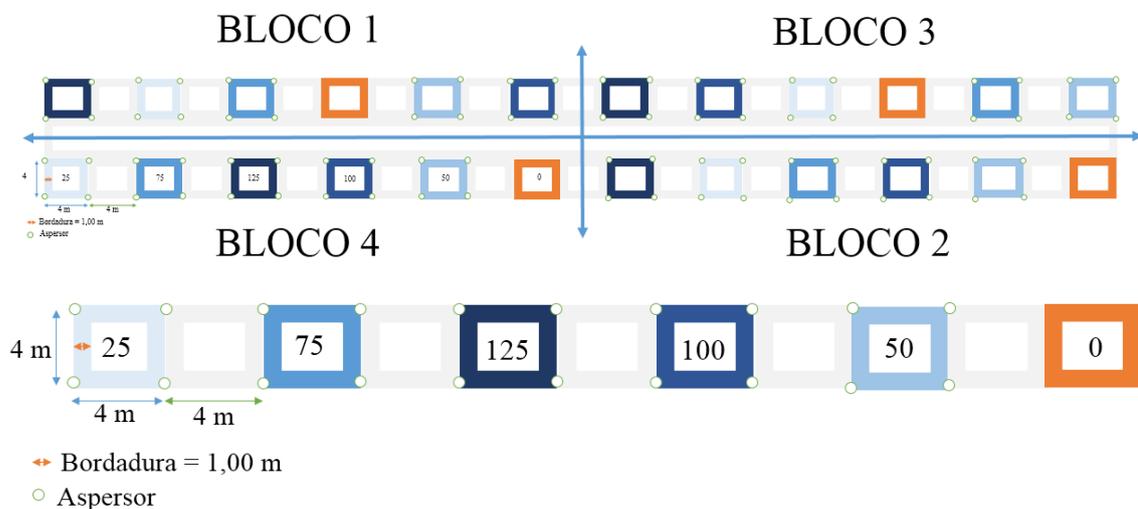
O solo foi classificado como Argissolo Amarelo Eutrófico típico (STRECK et al., 2008). Obtiveram-se as características físico-hídricas do solo conforme EMBRAPA (2011), representadas pela capacidade de retenção total de água no solo, a qual foi de 64,3 mm até os 50 cm de profundidade.

Os dados meteorológicos foram monitorados por meio da estação meteorológica "RS - Santa Maria" afiliada ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, situada aproximadamente a 2.000 metros da área experimental, cujas coordenadas geográficas são: 29°43'29.41" de latitude sul e 53°43'13.78" de longitude oeste. Com essas informações foi determinada a evapotranspiração de referência (ET_o) diária pelo método de Penman-Monteith/FAO (ALLEN et al., 2006).

Foi utilizado um sistema de irrigação do tipo aspersão convencional, com espaçamento entre linhas de aspersores de 4 m x 4 m e elevação de 1,5 m. As lâminas de água foram controladas através do tempo de abertura das linhas de irrigação, com objetivo de obter cinco diferentes lâminas de água: 25, 50, 75, 100 e 125% da ETo. A intensidade de aplicação (Ia) foi calibrada por meio do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), a fim de se avaliar a real intensidade de água aplicada na área experimental, assim como a qualidade de aplicação (Uniformidade) que foi de 88%, com $I_a = 12,2 \text{ mm h}^{-1}$. Assim, a I_a foi inferior a velocidade de infiltração básica do solo (VIB) que foi de 15 mm h^{-1} , determinada pela metodologia dos anéis concêntricos. O manejo da irrigação foi efetivado com base na ETo, com turno de rega fixo de sete dias, sempre que a precipitação pluviométrica efetiva não atendeu a demanda hídrica da cultura. A determinação da precipitação efetiva, foi calculada por meio do coeficiente de escoamento superficial, metodologia proposta por Millar (1978), sendo essa de 70%, o que significa que 30% da precipitação foi perdida por escoamento superficial.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, constituído de 24 unidades experimentais (UE), com quatro blocos (repetições) e com seis tratamentos por bloco, incluindo a testemunha. As parcelas tinham dimensões de 4 m x 4 m, sendo considerado 1 m de bordadura dentro de cada parcela. Entre os tratamentos foram deixados espaços livres de 4 m, para que não houvesse interferência na aplicação de água entre as distintas lâminas, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Croqui representando as quatro repetições, com detalhamento de um bloco experimental com as distintas lâminas de água aplicadas: 25, 50, 75, 100 e 125% da ETo, mais o tratamento testemunha.



A cultivar de capim Sudão utilizada foi a BRS Estribo, semeado no Ano 1 em 24 de novembro de 2015 e no Ano 2 em 29 de novembro de 2016, em sistema de plantio direto. A densidade de semeadura foi de 25 sementes por metro linear, espaçadas em 0,36 m entre linhas.

A adubação de base e a semeadura foram realizadas concomitantemente em linha, a expectativa de rendimento de forragem foi de 20.000 kg ha⁻¹ de massa seca, conforme recomendação do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2016). Foram aplicados 850 kg ha⁻¹ de formulado comercial 5-20-20 de nitrogênio (N), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O), respectivamente.

A complementação da fertilização nitrogenada foi realizada de modo fracionado em cobertura, sendo a primeira aplicação no início do perfilhamento aos 25 dias após a semeadura (DAS). E as seguintes, após cada corte realizado, sendo aos 50 e 80 DAS respectivamente. Para a determinação da quantidade de ureia (44% de N) a ser aplicada, considerou-se o teor de matéria orgânica exposto na análise química do solo apresentando na Tabela 1, sendo aplicado 160 kg ha⁻¹ de ureia em cada época, totalizando 480 kg ha⁻¹ ao longo do ciclo da cultura.

Tabela 1. Análise química do solo.

Prof.	pH	M.O	Areia	Silte	Argila	Saturação	
(cm)	H₂O	m v⁻¹			Al	V	
	(1:1)	%				%	
0-10	6,2	2,3	38	42	20	0	77,3
Teor Trocável g 100 g⁻¹ de Solo							
CTC	Ca	Mg	Al	H + Al	K	P-	SMP
pH7	cmol_c dm⁻³			mg dm⁻³			
10,9	5,6	2,5	0	2,5	144	11,8	6,5

As aplicações de inseticidas, fungicidas e herbicidas foram realizadas de forma homogênea em toda área experimental, sendo de forma preventiva ou quando observou-se os primeiros sintomas. Em ambos os anos, as aplicações de herbicidas foram realizadas 25 dias antes da semeadura, utilizando dois herbicidas com diferentes grupos de ação, sendo eles, o Glifosato na dosagem comercial de 2,5 l ha⁻¹ (1200 g l⁻¹ de ingrediente ativo (i.a.)) e o 2,4-D na dosagem de 1,5 l ha⁻¹ (1005 g l⁻¹ de i. a.).

O controle de doenças fúngicas foram realizados de maneira preventiva aos 30 DAS em ambos os anos, sendo necessária mais uma aplicação aos 95 DAS no Ano 1 e aos 65 DAS no Ano 2. O fungicida utilizado foi o Tebuconazol na dosagem de 1 l ha^{-1} (200 g l^{-1} de i. a.). O controle de pragas foi realizado por meio de inseticida Clorpirifós na dosagem de $0,61 \text{ ha}^{-1}$ (480 g l^{-1} de i. a.) com 150 l ha^{-1} de volume de calda, com três aplicações em ambos os anos, aos 30, 65 e 95 DAS, sendo a principal praga as lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

A avaliação da produção forrageira foi realizada por meio da coleta de três amostras de $0,5 \text{ m}$ linear de plantas por parcela, à $0,15 \text{ m}$ de altura de resíduo em relação ao solo, totalizando 72 amostras em cada uma das épocas dos cortes de uniformização (50, 80 e 110 DAS). Após as coletas, as amostras foram levadas ao laboratório para a determinação da massa seca, sendo as plantas separadas em duas frações (folha e colmo) antes do processo de secagem até peso constante, em estufa com circulação forçada de ar à 65° C . Posteriormente, a massa seca foi determinada em balança de precisão e expressa em unidades de kg ha^{-1} de cada fração e da amostra final.

Para determinação da eficiência de utilização da água foi empregada a metodologia utilizada por Oliveira et al. (2011), a qual consiste em relacionar o volume total de água aplicada (precipitação efetiva + lâmina de água) com a produção total de massa seca.

Os resultados foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância pelo software R-Studio pacote Exp des (FERREIRA et al., 2014) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Foram feitos testes de homogeneidade de variâncias e de normalidade dos resíduos, apresentando p-valor de 0,03 e 0,002 respectivamente, para o Ano 1; no Ano 2 o p-valor para homogeneidade de variâncias foi de 0,042 e 0,01 para a normalidade dos resíduos. Assim, considerou-se que os conjuntos de dados de ambos os anos apresentaram-se homogêneos e normais. Quando observados efeitos significativos de tratamentos, os resultados foram submetidos à análise de regressão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2), foram observadas precipitações efetivas superiores ao normal climatológica da região, a qual apresenta a média de 386,8 mm, com precipitações de 458,04 mm no Ano 1 e de 593,18 mm no Ano 2 (Tabela 2).

Tabela 2. Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e lâmina total de acordo com os diferentes tratamentos utilizados nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.

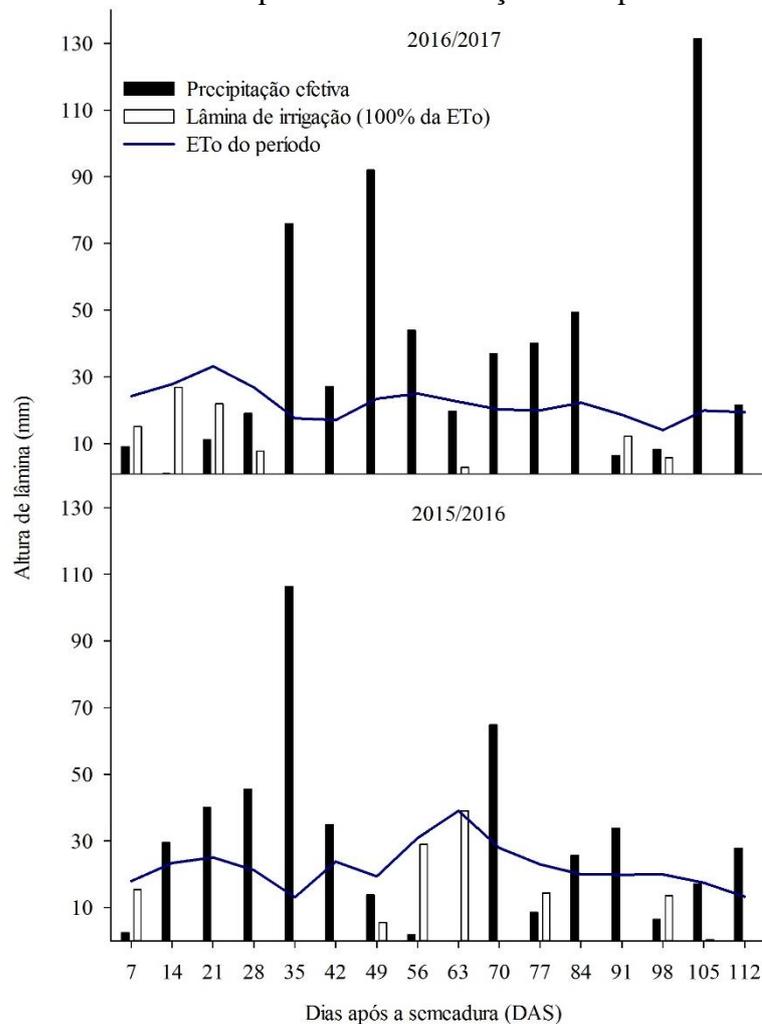
ANO AGRÍCOLA 2015/2016 (1)			
Tratamento (% ETo)	Precipitação Efetiva (mm)	Lâmina de Irrigação (mm)	Lâmina Total (mm)
125	458,04	146,82	604,86
100		117,46	575,50
75		88,09	546,13
50		58,73	516,77
25		29,36	487,40
0		0,00	458,04
ANO AGRÍCOLA 2016/2017 (2)			
125	593,18	161,87	755,05
100		92,50	685,68
75		69,37	662,55
50		46,25	639,43
25		23,12	616,30
0		0,00	593,18

Porém, como houve distribuição irregular da precipitação ao longo do período experimental, apresentando períodos de excesso e outros de deficit hídrico, foi necessária a irrigação para suprir de maneira adequada a demanda hídrica da cultura, quando a precipitação pluviométrica não supriu a demanda evapotranspirativa.

É importante ressaltar que os períodos de excesso hídrico induzem a redução do aprofundamento do sistema radicular e conseqüentemente, o comprimento do mesmo, tornando-o superficial. Isso diminui a capacidade de absorção de água, apresentando sintomas de estresse hídrico de forma mais rápida em períodos de estiagem (TAIZ e ZEIGER, 2017). Houve encharcamento do solo no Ano 1 aos 35 DAS e no Ano 2 aos 49 DAS e 105 DAS.

No Ano 1 foram aplicados 117,46 mm de água no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, sendo está fracionada em sete aplicações. No Ano 2, foram aplicados 92,5 mm no mesmo tratamento, sendo também fracionado em sete aplicações de acordo com a distribuição pluviométrica e a necessidade hídrica da cultura em cada época de cultivo, como mostra a Figura 2.

Figura 2. Evapotranspiração de referência (ETo), precipitação efetiva e lâmina de irrigação acumulada semanalmente durante os períodos de condução do experimento.



Observa-se que em ambos os anos agrícolas a distribuição pluviométrica foi irregular, ocorrendo períodos de excesso e outros de estresse hídrico em várias semanas, causando redução do potencial produtivo da cultura.

No Ano 2, é importante ressaltar o estresse hídrico ocorrido no período entre a semeadura e o primeiro corte, onde se fez necessária quatro irrigações consecutivas para atender à demanda hídrica da cultura. No Ano 1 a distribuição pluviométrica excedeu a demanda da evapotranspiração durante quase todo o período do primeiro corte, sendo necessária apenas uma irrigação. Diante dessa condição, o tratamento testemunha (não irrigado) no segundo ano sofreu estresse hídrico, desde o início do estabelecimento da cultura, sendo esse período importante na definição do potencial forrageiro, refletindo na diminuição do perfilhamento e na produção de massa seca ao longo de todo o ciclo.

Reis et al. (2017) salientam que, o estresse hídrico causado no período inicial de estabelecimento da cultura e início do perfilhamento, afetam severamente a produtividade forrageira ao longo de todo o ciclo. Ocorre a diminuição do potencial produtivo pois o metabolismo fotossintético é afetado, causando restrições fisiológicas que limitarão a produção, sendo necessário o uso da irrigação a fim de garantir a qualidade forrageira e os altos índices de produtividade (KIRCHNER et al., 2017; KOETZ et al., 2017).

As culturas forrageiras sob períodos de deficit hídrico, sofrem diminuição na disponibilidade de nutrientes absorvidos pelas plantas, pois a rota fundamental para absorção de nutrientes ocorre pelo fluxo de massa na solução do solo. Assim, o deficit hídrico compromete a translocação e a absorção de nutrientes para os pontos de crescimento, restringindo a produção (PREMAZZI; MONTEIRO e CORRENTE, 2003; TAIZ e ZEIGER, 2004).

O rendimento de massa seca nos dois anos agrícolas proporcionaram significância estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro, em função dos diferentes tratamentos de irrigação testados, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para a variável Massa Seca ao 5% de probabilidade de erro, com a significância dos coeficientes de regressão.

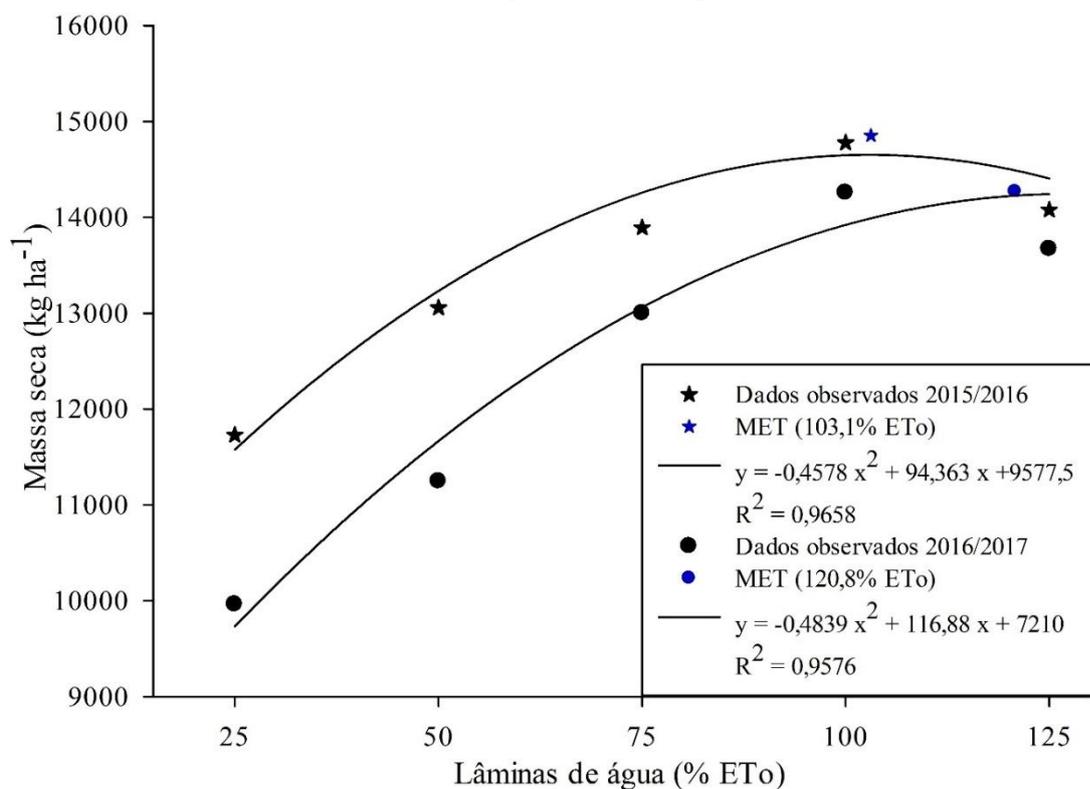
2015/2016 (Ano 1)				
FV	GL	SQ	Qm	Pr > Fc
Bloco	3,00	3758796,90	1252932,30	0,0003
Lâmina	4,00	21829372,70	5457343,20	0,0000
Erro	12,00	1074470,50	89539,30	
Coeficientes	Estimativa	Erro padrão	Tc	P-valor
a	9577,50	320,89	29,85	0,0000
b	94,36	9,78	9,65	0,0000
c	-0,46	0,06	-7,16	0,0000
Média	13507,08			
CV (%)	2,22			
2016/2017 (Ano 2)				
FV	GL	SQ	Qm	Pr > Fc
Bloco	3,00	1633105,98	544368,66	0,0534
Lâmina	4,00	51237492,18	12809373,05	0,0000
Erro	12,00	1919942,40	159995,20	
Coeficientes	Estimativa	Erro padrão	Tc	P-valor
a	7210,00	428,95	16,62	0,0000
b	116,88	13,07	8,90	0,0000
c	-0,48	0,09	-5,81	0,0001
Média	12436,33			
CV (%)	3,22			

O $Pr > Fc$ demonstra que no Ano 1 houve significância estatística ao nível de 5% para a utilização de blocos, apresentando o valor de 0,0003, enquanto que no Ano 2 não foi observado significância estatística para a utilização de blocos, provavelmente pela padronização da fertilidade e das condições físico-hídricas do solo, em função do primeiro ano de cultivo. Para a variável lâmina de irrigação, houve significância estatística ao nível de 5% em ambos os anos, evidenciando que o uso da irrigação gera distintas produções de acordo com

o aporte hídrico utilizado, mesmo sob as diferentes condições climáticas apresentadas entre os anos.

É possível observar na Figura 3 a produtividade forrageira no somatório dos três cortes de uniformização realizados para cada tratamento testado, assim como os pontos de máxima eficiência técnica.

Figura 3. Rendimento total de massa seca (MS) e a máxima eficiência técnica no somatório dos três cortes sob diferentes lâminas de água nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.



Os tratamentos sem irrigação foram considerados como testemunhas adicionais, devido a variação na produtividade forrageira em detrimento ao regime pluvial de cada ano, apresentando rendimentos de 10.605,8 kg ha⁻¹ de MS no Ano 1 e 8.439,5 kg ha⁻¹ de MS no Ano 2. Essa diferença de 2.166,3 kg ha⁻¹ de MS, representa 20,5% do rendimento em relação ao Ano 1, devido à irregularidade do regime pluviométrico.

Pelos resultados observados na Figura 3 os maiores rendimentos de massa seca para todos os tratamentos foram obtidos no Ano 1. Nesse ano, o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo apresentou uma produtividade de 14.777,9 kg ha⁻¹ de MS, com a máxima

eficiência técnica na lâmina de água com 103,1% da ETo com rendimento de 14.851,9 kg ha⁻¹ de MS.

A produtividade no Ano 2 sob o tratamento com a lâmina de água com 100% da ETo foi de 14.256,9 kg ha⁻¹ de MS, representando uma variação de apenas 3,6% entre os anos, sob mesmo tratamento. A máxima eficiência técnica encontrada foi na lâmina de água com 120,8% da ETo, com rendimento de 14.267,7 kg ha⁻¹ de MS. Isso representa uma diferença de 4% entre os anos, provavelmente pelos maiores valores de fotoperíodo, temperatura e radiação solar no Ano 1.

Observa-se uma variação entre as testemunhas e os tratamentos de mesmo experimento em relação ao rendimento de massa seca de 3.473,3 kg ha⁻¹ para o Ano 1, e 5.231,2 kg ha⁻¹ no Ano 2, correspondendo a uma variação na produtividade entre o irrigado (100% da ETo) e o não irrigado de 24,7% e 38,3% respectivamente.

Embora o Ano 2 tenha apresentado menor rendimento total em todos os tratamentos em relação ao Ano 1, a amplitude de variação entre o tratamento não irrigado e o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo foi maior, possivelmente em função do déficit hídrico sofrido nos primeiros 50 dias de desenvolvimento da cultura.

O período inicial de estabelecimento (crescimento e perfilhamento) do capim Sudão, no Ano 1 foi favorecido pelo suprimento hídrico adequado em todos os tratamentos, inclusive no tratamento testemunha, quando comparado ao Ano 2. Naquele ano, foi necessária apenas uma irrigação de 14 mm até os 50 DAS para atender a demanda hídrica total das plantas, enquanto que, no Ano 2, foi necessário quatro irrigações, totalizando 72 mm para suprir a demanda hídrica do mesmo período.

Nos dois anos de estudo, observou-se incremento não proporcional (comportamento quadrático) no rendimento de massa seca. Porém, à medida que as lâminas de água aumentaram até o tratamento com 100% da ETo, a produtividade também aumentou, ocorrendo a diminuição no rendimento de massa seca no tratamento com 125% da ETo em ambos os anos. Isso se deve ao excesso hídrico ocasionado por esse tratamento durante todo o ciclo da cultura, que também ocasiona perdas de água e de energia, aumentando o custo de produção e o impacto ambiental.

A aplicação excessiva de água via irrigação de pastagens é o principal problema para Alencar et al. (2009), pois resulta em prejuízos ambientais, desperdício de água, causando a lixiviação de nutrientes e a compactação do solo. Assim, pode-se supor que o excesso hídrico prejudica a produção forrageira da cultura do capim Sudão, assim como o déficit hídrico.

Portanto, o ajuste da lâmina de irrigação é fundamental para que seja possível atingir produtividades próximas ao potencial produtivo de forma sustentável.

Torres et al. (2019), observaram resultados que vão ao encontro dos obtidos no presente estudo, onde a produtividade total de massa seca para a cultura do milho no tratamento que proporcionou o maior rendimento (100% da ETo), apresentou uma amplitude de variação entre os anos agrícolas de 5,8% o que representa 714,97 kg de MS ha⁻¹. Essa diferença foi atribuída às condições climáticas e ao elevado volume de chuvas, acarretando na variação do potencial produtivo entre os anos agrícolas. O comportamento produtivo da cultura também apresentou-se quadrático, apresentando decréscimo na produtividade forrageira com lâminas de água superiores a 100% da ETc.

Estudando a resposta da irrigação em pastagem, Kirchner et al. (2019), também observaram comportamento quadrático na cultura do sorgo forrageiro quando submetido aos mesmos regimes hídricos, com uma produtividade de 8.909 kg de MS ha⁻¹ no tratamento não irrigado e de 13.134 kg de MS ha⁻¹ no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, representando um incremento de rendimento muito próximo do observado no presente estudo, sendo este de 32,2% quando irrigado. Apresentando decréscimo na produtividade no tratamento com 125% da ETo devido ao excesso hídrico ocasionado pela irrigação. Os autores ainda contribuem afirmando que o incremento na produção forrageira quando irrigada é inquestionável e de fundamental importância para otimização da produção agropecuária.

Aguiar et al. (2005), também corroboram com o presente estudo, pois trabalhando com a cultura do capim Tanzânia observaram resultados de produtividade de massa seca para o tratamento com irrigação plena de 6.877 kg ha⁻¹ de MS. Para o tratamento sem irrigação, o rendimento foi de 4.985 kg ha⁻¹ de MS, representando um incremento no rendimento quando irrigado de 28,6%, sendo esse valor intermediário aos observados no presente estudo que foram de 24,7% e 38,3% respectivamente.

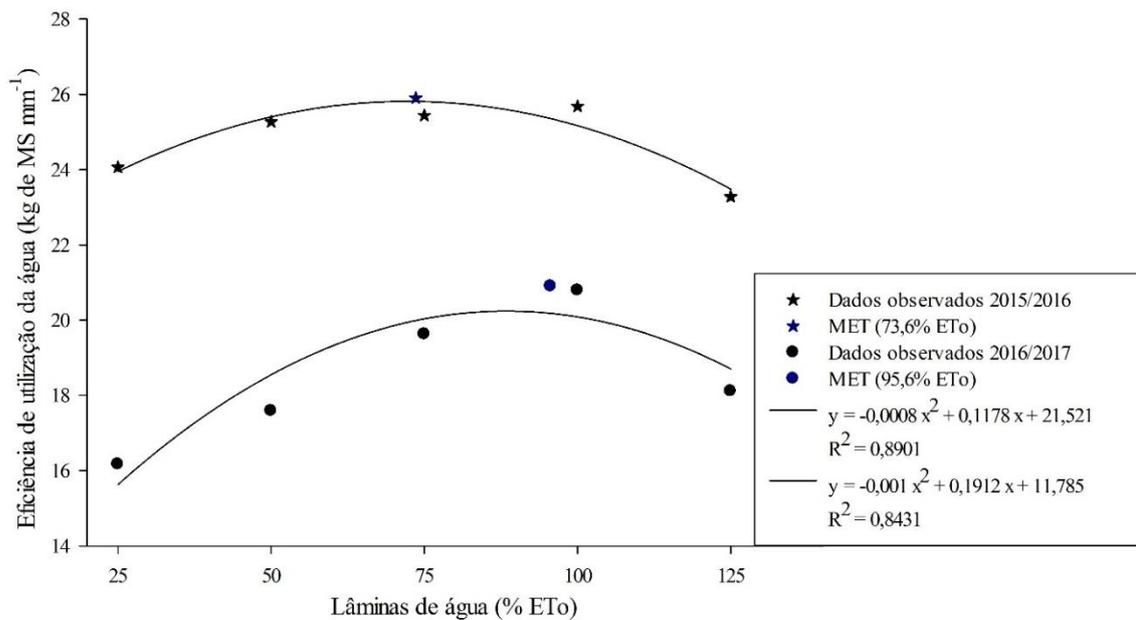
Diante dos resultados do presente estudo e dos encontrados na literatura, fica clara a importância do correto manejo da irrigação de acordo com a necessidade hídrica da cultura. Perante os distintos tratamentos avaliados, é possível observar que em ambos os anos houve incremento de produtividade à medida que a demanda hídrica da cultura foi sendo suprida e apresentando decréscimo com quantidades excessivas de água.

Além dos aspectos produtivos é fundamental o conhecimento da eficiência de utilização da água (EUA) na agricultura irrigada, pois através dessa é possível determinar qual tratamento

proporciona o maior aproveitamento da água pela planta, e também é possível determinar a viabilidade econômica da atividade.

A eficiência de utilização da água apresentou resultados que comprovam a importância da irrigação no cultivo de pastagens, pois o acréscimo das lâminas de água até certo ponto proporcionaram maior conversão de massa seca por altura de lâmina de água aplicada, como mostra a Figura 4.

Figura 4. Eficiência de utilização da água em relação ao somatório total de água aplicado, entre a precipitação efetiva e as lâminas de água testadas, com os pontos de máxima eficiência técnica.



Para a determinação da eficiência de utilização da água (EUA), foram somados os rendimentos de massa seca ao longo de todo o ciclo da cultura, sendo relacionado com o volume total de água aplicado (irrigação + precipitação efetiva). Observa-se que, ambos os experimentos apresentaram mesmo comportamento, sendo esse quadrático, com aceitáveis coeficientes de determinação e funções de produção próximas, demonstrando que o suprimento hídrico adequado propiciou maior conversão da água em massa seca.

Tal fato é explicado por Taiz e Ziger (2017), quem afirmam que culturas nas quais são colhidas as partes aéreas em fase vegetativa, a fertilização e a irrigação causam maior alocação de recursos para o colmo, folhas e estruturas reprodutivas do que para as raízes, e esse desvio no padrão de alocação frequentemente resulta em maiores produtividades.

Os tratamentos testemunhas apresentaram valores de eficiência de utilização da água de 23,2 kg mm⁻¹ no Ano 1 e de 14,3 kg mm⁻¹ no Ano 2. Essa diferença provavelmente adveio em função do deficit hídrico, ocorrido da semeadura até o primeiro corte no Ano 2, sendo a eficiência de utilização da água severamente afetada, apresentando uma variação entre os anos de 8,9 kg de MS mm⁻¹, o que representa uma diferença de 38,6%.

Os pontos de máxima eficiência técnica para utilização da água, foram determinadas para a lâmina de água com 73,6% da ETo no Ano 1, com 25,9 kg de MS mm⁻¹ e para o Ano 2 na lâmina de água com 95,6% da ETo, com 20,9 kg de MS mm⁻¹, representando uma diferença de 19,3% entre os anos estudados.

As EUA observadas no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo no Ano 1 foi de 25,7 kg de MS mm⁻¹, enquanto que, no ano seguinte, a produtividade foi de 20,8 kg de MS mm⁻¹, apresentando uma diferença de 4,9 kg de MS mm⁻¹, correspondendo a uma variação entre os anos de 19,1%. Essa variação é atribuída às condições climáticas mais favoráveis no Ano 1 e a menor precipitação pluviométrica ocorrida, em relação ao Ano 2, propiciando melhores condições para o desenvolvimento da cultura, pelo fato de não ter ocorrido um excesso hídrico tão elevado quanto no ano posterior.

Trentin, et al. (2016), também trabalhando com a cultura do capim Sudão, cultivar BRS Estribo, obtiveram resultados próximos dos observados no presente estudo, onde a eficiência de utilização da água foi de 18 kg de MS mm⁻¹ para o tratamento com a lâmina de irrigação com 50% da ETP, apresentado uma produtividade de massa seca de 11.032 kg ha⁻¹, com o suprimento de água ao longo do ciclo da cultura de 613,1 mm.

Os resultados observados estão de acordo com os obtidos por Parizi et al. (2009), que trabalhando com a cultura do milho com quatro diferentes lâminas de água 60%, 80%, 100% e 120% da ETo, encontraram os maiores valores de EUA de 3,41 kg m⁻³ ha⁻¹ e 3,46 kg m⁻³ ha⁻¹ nos tratamentos com 80% e 100% da ETo, apresentando comportamento quadrático, ou seja, lâminas superiores a 100% diminuíram a EUA.

Estudando a eficiência de utilização da água na cultura do sorgo forrageiro irrigado, sob mesmos tratamentos, Kirchner et al. (2019) também observaram resultados que reforçam os encontrados no presente estudo, pois a equação ajustada foi de segundo grau, com a maior EUA observada em campo no tratamento com 100% da ETo e a menor no tratamento testemunha, com uma amplitude de variação entre as distintas lâminas de água de 25%, apresentando 15,01 a 19,81 kg de MS mm⁻¹.

6. CONCLUSÃO

A produção forrageira do capim Sudão foi influenciada tanto pelo deficit quanto pelo excesso hídrico, a lâmina de água com 100% da ETo apresenta produção estável ao longo dos anos, sendo os pontos de máxima eficiência técnica determinado nas lâminas com 103,1% da ETo no Ano 1 e 120,8% da ETo no Ano 2.

As lâminas de água influenciam diretamente a produtividade da água, quando o suprimento hídrico é ótimo a eficiência de utilização da água é máximo, produzindo maior quantidade de massa seca por milímetro de água aplicada.

A cultura do capim Sudão apresentou alta eficiência no aproveitamento de água, sendo uma alternativa para a diversificação da produção forrageira e para sustentabilidade da atividade pecuária onde o recurso hídrico é escasso.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE (ABIEC), Exportações 2019. Disponível em: <<http://abiec.com.br/exportacoes/>>. Acesso em: 30 de mar. 2020.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, J. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, p. 298, 2006. (Estudio Riego e Drenaje Paper, 56). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>>. Acesso em: 30 de mar. 2020.

ALENCAR, C. A. B.; CUNHA, F. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; ROCHA, W. S. D.; ARAÚJO, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. esp., p. 98-108, 2009.

AGUIAR, A. P. A.; DRUMOND, L. C. D.; FELIPINI, T. M.; PONTES, P.O.; SILVA, A. M.

Características de crescimento de pastagens irrigadas e não irrigadas em ambiente de cerrado. **FAZU em revista**, Uberaba, v. 4, n. 2, p. 22-26, 2005. Disponível em: <<https://www.fazu.br/ojs/index.php/fazuemrevista/article/view/134/128>>. Acesso em: 20 de mar. 2020.

BERTOSSI, A. P.; MILEN, L. C.; HOTT, M. O.; RODRIGUES, R. R.; REIS, E. F. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem. **Nucleus**, Ituverava, v. 10, n. 1, p. 125-134, 2013.

BIBI, A.; SADAQAT, A.; AKRAM, H. M.; KHAN, T. M.; USMAN, B. F. Physiological and agronomic responses of sudangrass to water stress. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 48, n. 3, p. 369-379, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, p. 376, 2016.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Estruturação do mercado de sementes de forrageiras, Capim-sudão BRS Estribo: recomendações de manejo e oportunidades na cadeia produtiva da ovinocultura. **Revista Do Produtor**, Bagé, v. 6, n. 7, p. 1-22, 2014. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/988352/1/revistamarco2014.pdf>>. Acesso em: 20 de mar. 2020.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**, 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, p. 225, 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104933/1/Manual-de-Mtodos-de-Anilise-de-Solo.pdf>>. Acesso em: 30 de mar. 2020.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivar de capim-sudão – BRS-Estribo**, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/905/cultivar-de-capim-sudao---brs-estribo>>. Acesso

em: 11 de mai. 2020.

FERREIRA, E., CAVALCANTI, P. E NOGUEIRA, D. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. **Applied Mathematics**, Wuhan, v. 5, n. 19, p. 2952-2958, 2014.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **FORAGEIRAS PARA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA REGIÃO SUL-BRASILEIRA**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 542, 2012. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1010247/1/LV2012forrageirasparaintegracaoFontaneli.pdf>>. Acesso em: 20 de mar. 2020.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; MEZZOMO, W.; TORRES, R. R.; GIRARDI, L. B.; PIMENTA, B. D.; ROSSO, R. B.; PEREIRA, A. C.; LOREGIAN, M. V. Variation of leaf area index of the forage sorghum under different irrigation depths in dynamic of cuts. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 12, n. 2, p. 111-124, 2017.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; MEZZOMO, W.; BEN, L. H. B.; PIMENTA, B. D.; PEREIRA, A. C. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 2, p. 1-9 (e5646), 2019.

KOETZ, M.; BÄR, C. S. L. E. L.; PACHECO, A. B.; CASTRO, W. J. R.; CRISOSTOMO, W. L.; SILVA, E. M. B. Produção e eficiência no uso da água do capim paiaguás sob tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 1, p. 1223-1232, 2017.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, LTDA, p. 276, 1978.

MONTEIRO, R. O. C.; COSTA, R. N. T.; LEÃO, M. C. S.; AGUIAR, J. V. Eficiência do uso da água e nitrogênio na produção de melão. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 367-377, 2008.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. 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.

PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; GOMES, A. C. S.; SOARES, F. C.; RAMAO, C.; CALEGARO, I.; PEITER, M. X. Efeito de diferentes estratégias de irrigação sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 254- 269, 2009.

PREMAZZI, L. M.; MONTEIRO, F. A.; CORRENTE, J. E. Tillering of Tifton 85 bermudagrass in response to nitrogen rates and time of application after cutting. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 565-571, 2003.

RAY, D. K.; GERBER, L. S.; MACDONALD, G. K.; WEST, P. C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, Londres, n. 6, v. 5989, p. 1-9, 2015. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ncomms6989>>. Acesso em: 30 de mar. de 2020

REIS, M. M.; SANTOS, L. D. T.; OLIVEIRA, F. G.; SANTOS, M. V. Irrigação de pastagens tropicais: desafios e perspectivas. **Revista Unimontes Científica**, Montes Claros, v. 19, n. 1, p. 178-190, 2017.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 Ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, p. 222, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, p. 719, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, p. 888, 2017.

TORRES, R. R.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BEM, L. H. B.; MEZZOMO, W.; KIRCHNER, J. H.; PEREIRA, T. S.; BUSKE, T. C.; VIVAN, G. A.; GIRARDI, L. B. Economic of the irrigated production of forage millet. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 623-638, 2019.

TRENTIN, G.; SILVEIRA, M. C. T.; MALCORRA, M. P.; FAGUNDES, B. F.; SOUZA, A. L. F. Produção de matéria verde e seca de capim-Sudão BRS Estribo submetido a diferentes disponibilidades hídricas. *In*: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 26, Santa Maria. **Cinquenta anos de zootecnia no Brasil: anais**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2016. p. 1-3. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/pecuaria-sul/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1048539/producao-de-materia-verde-e-seca-de-capim-sudao-brs-estribo-submetido-a-diferentes-disponibilidades-hidricas>>. Acesso em: 30 de mar. 2020.

VIVAN, G. A.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; PARIZI, A. R. C.; BARBOZA, F. S.; SOARES, F. C. Rendimento e rentabilidade das culturas da soja, milho e feijão cultivados sob condições de sequeiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 5, p. 2943-2950, 2015.

WOLLMANN, C.A.; GALVANI, E. Caracterização climática regional do Rio Grande do Sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 11, n. 8, p. 87-103, 2012.

Economic Viability of Conventional Sprinkler Irrigation in Sudan Grass Production for Beef Cattle

Abstract

The supplementary irrigation is an alternative to ensure forage production and quality in periods with irregular rainfall, however, is necessary to know the irrigation economic viability in order to maximize profits. The study was performed in Santa Maria, Rio Grande do Sul State in southern Brazil, during 2015/2016 and 2016/2017 agricultural years, aiming to evaluate the sudan grass economic viability under different irrigation depths, in order to define which irrigation depth (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of the reference evapotranspiration-ET_o) has the highest net revenue. Forage production functions were generated and allowed to establish the carrying capacity and production costs related to each applied irrigation depth. The forage supply was 4% of the liveweight, animals with 300 kg were considered, and average daily liveweight (LW) gains of 0.5, 1.0 and 1.5 kg LW day⁻¹ were simulated for the conversion of dry mass production in liveweight gain per hectare. Gross revenue was determined considering the price of R\$ 6.50 per kilogram of liveweight. The production costs were divided into fixed and variable, related and not related to irrigation. The conventional sprinkler irrigation was economically viable for the sudan grass cultivation for beef cattle production, with the highest net revenue for the irrigation depth of 100% of ET_o, in both years. However, the animals feed conversion is the determinant factor in net revenue because it represents the greatest profits variation source.

Keywords: carrying capacity, feed conversion, net revenue

1. Introduction

Cultivated, natural and native pastures cover, approximately, 162 million hectares in Brazil. Approximately 68% of this total area is under cultivated pastures (ABIEC, 2019; IBGE, 2017), which represents the most viable and practical way for cattle feed (Kirchner et al., 2019a).

Among the current options for cultivated pastures, sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) has been highlighting due to its characteristics, such as high forage production, great leaf-to-stem (L/S) ratios, early sowing possibility, long production cycle, high tillering, rusticity regarding the low soil nutritional conditions and great pasture management flexibility (EMBRAPA, 2014). Water requirement during sudan grass plants proper development varies from 350 mm up to 700 mm, depending on weather conditions, management and cycle length (Silveira et al., 2015).

Economic benefits provided by the sudan grass, cultivar BRS Estribo, were highlighted in a study performed by EMBRAPA (2018), which has been promising, mainly in the southernmost Brazilian region. The economic impact in 2018 was estimated at R\$ 172 million, provided by both beef cattle productivity increase, decrease in forage costs for feed dairy cattle and selling

seeds.

The highest climatic instability during the crop cycle (spring-summer seasons) is characteristic of the large part of Brazil. As a consequence, spatial and temporal rainfall distribution is irregular or occurs rainfall scarcity. The supplementary irrigation is an alternative for water supply for crop demand, in order to the maintenance of high and stable crop yield throughout the production cycle (Silva et al., 2015). During the cultivation period, sudan grass evapotranspirative demand often is high than the accumulated rainfall, which can compromise the development, yield and, dry matter accumulation.

Irrigation also contributes to increasing forage quality and availability, which provides the increase in beef-cattle production profitability, through weight gain and the reduction of days to slaughter, reflecting on the meat final quality (Soares et al., 2015).

However, irrigation needs to be performed in pasture areas with equipment that facilitates animal management and movement, considering both operational performance and economic viability. Conventional sprinkler irrigation systems are the most appropriate for small farms with low technological level compared to other systems, due to the better use of the farm area, lower cost for irrigation system acquisition and installation, land systematization is not required, and the system operation, management, and maintenance is easy (Mendonça et al., 2007).

Even the benefits of conventional sprinkler irrigation systems, economic results of the adopted techniques are often not evaluated by farmers (Paredes et al., 2014), which commonly use an excessive amount of water for irrigation in order to obtain to ensure high yield. However, this practice results in losses or in low economic returns (Zhang et al., 2017).

Total benefits of irrigation must be higher than the total costs to justify economically an irrigation project (Silva et al., 2013). Thus, irrigation must increase productivity, decrease costs, improve the efficiency of water and energy use, maintain soil moisture favorable to the proper crops development, and improve physical, chemical and biological soil quality (Ayas et al., 2011).

Economic evaluation studies, which considerate the crop yields response under different irrigation depths are essential to turn viable and spread the exploitation of some crop in a region (Bernardo et al., 2008).

The use of irrigation aiming to profit maximization may imply the application of irrigation depths small than full irrigation, even under productivity reduction, as long the significant economic advantage occurs (Lima Junior et al., 2014).

The use of conventional sprinkler irrigation in pastures for finishing cattle is feasible, however, the obtaining of high production is needed to compensate costs provided by the irrigation technology use (Soares et al., 2015). Furthermore, economic evaluation is essential to assess the sustainability of farms that use irrigation in pastures, considering that irrigation is essential for livestock production intensification (Soares et al., 2015).

The financial analysis must be performed considering the production costs, and the gross and net revenues, in order to contribute in the decision-making for the investment, which is indispensable to the efficiency of irrigation projects implementation (Almeida et al., 2018).

The sudan grass seeds cultivar (BRS Estribo) were firstly certified in 2013. Furthermore, the information related to the sudan grass response to irrigation is scarce and contradictory, and there are no studies regarding the technical-economic viability of irrigation of this forage for

beef cattle production. Thus, the productive and economic standards information for the crop clearly, reliably and objectively are necessary.

In this context, we aimed with this study to determine the technical-economic viability of sudan grass (BRS Estribo) under conventional sprinkler irrigation for beef cattle, in order to contribute to make-decision by farmers based on forage performance and on cattle feed conversion.

2. Material and Methods

The economic viability analysis for the production of irrigated sudan grass was carried out comparing net profit, with and without the use of conventional sprinkler irrigation, in two agricultural years, namely 2015/2016 (Year 1) and 2016/2017 (Year 2).

The experiments were carried out at the experimental area of the Colégio Politécnico (Polytechnic School) of Federal University of Santa Maria, in a field cropped by sudan grass, cultivar BRS Estribo. The total forage production was converted into the liveweight gain of beef cattle. Irrigation costs were calculated based on the sudan grass water demand for each year.

2.1 Experimental Area Characterization

The climate of the region is humid subtropical without dry season (Cfa), according to the Köppen climate classification (Wollmann and Galvani, 2012). The soil of the experimental area is classified as Argissolo Amarelo Eutrófico típico according to Brazilian Soil Classification System (Santos et al., 2018), and as Acrisol in the IUSS Working Group WRB (IUSS, 2015). The physic-hydric soil properties were determined following the methodology proposed by EMBRAPA (2011). The total soil water retention capacity from the surface up to 50 cm soil depth was 83.3 mm. The basic infiltration rate, determined by ring infiltrometer methodology, was 15 mm h⁻¹.

2.2 Irrigation System and Management Characterization

The conventional sprinkler irrigation system used was composed of 24 fixed lateral lines with 24 m each, connected in a 100 m main line, with Polyvinyl Chloride (PVC) pipes. Spacing between lateral lines and sprinklers was 4 m x 4 m. Sprinklers (AgroJet, model P5^{1/2}) were installed at 1.5 m from the soil surface.

Irrigation were performed whenever the effective rainfall was lower than the crop water demand in the period, considering a fixed 7-day irrigation cycle. Effective rainfall was determined according to the methodology proposed by Millar (1978), where 70% of rainfall corresponds to effective rainfall, which implies that 30% of total rainfall was turned in runoff.

The treatments consisted of the application of five different irrigation depths, namely 25%, 50%, 75%, 100%, and 125% of the reference evapotranspiration (ET_o). The ET_o was determined by the Penman-Monteith/FAO equation (Allen et al., 2006), using the meteorological parameters dataset from an automatic meteorological station affiliated at the Brazilian National Institute of Meteorology (Instituto Nacional de Meteorologia-INMET), located at 1500 m from the experimental area.

Irrigation depths differentiation was performed according to each pre-established treatment (% ET_o), by varying the opening time of the valves, located at the beginning of each lateral line. Irrigation depths were calibrated by the Christiansen uniformity coefficient (CUC). The CUC had 83% of uniformity under the 12.2 mm h⁻¹ water application rate, which is lower than the soil basic infiltration rate (15 mm h⁻¹).

2.3 Sudan Grass Management

Sudan grass sowing was performed on November 24, 2015 and on November 29, 2016, under the no-tillage system. The sowing density was 25 seeds per linear meter, spaced 0.36 m between rows.

Fertilizer application was performed in the sowing line, with fertilizer levels to reach the forage yield expected of 20 000 kg ha⁻¹ dry mass, as recommended by CQFS RS/SC (2016). Therefore, fertilizing was performed by application of 850 kg ha⁻¹ of mineral fertilizer with a commercial formulation of NPK 5-20-20, nitrogen (N) phosphorus (P₂O₅) and potassium (K₂O), respectively, incorporated at the soil.

Supplementary nitrogen was fractioned during the sudan grass cycle, and applied on the soil surface, without incorporation. The first nitrogen application was performed at the tillering beginning at 25 days after sowing (DAS). The following nitrogen applications were performed after each harvest, at 50 and 80 DAS, respectively. The soil organic matter content, evaluated by the chemical analysis, was considered to determine the nitrogen amount required. The 160 kg ha⁻¹ of urea was applied at each season, totalizing 480 kg ha⁻¹ of urea during the whole crop cycle.

The insecticides, fungicides, and herbicides were homogeneously applied throughout the experimental area, preventively or when the first symptoms were observed.

Forage production was evaluated in three samples collected in 0.5 linear meters of plant per plot, taken at 0.15 m from the surface soil, which totaling 72 samples in each season of standardization harvest (50, 80 and 110 DAS).

After samplings, the dry mass (DM) was determined at the laboratory. Plants were separated in two fractions (leaf and stem) and subsequently dried at 65 °C until constant weight, in a forced-air oven. Finally, each dry mass fraction (kg ha⁻¹) was quantified on a precision scale, and then composed the final sample.

2.4 Statistical Analysis

The results were statistically compared by analysis of variance, at 5% probability of error, and when means were significantly different, the results were subjected to regression analysis. Statistical analyses were performed using the Exp des R package (Ferreira et al., 2014), available in the R environment (R Core Team, 2018).

2.5 Animal Liveweight Gain Estimate

Animal carrying capacity, the maximum of animals to possible be fed per hectare, was calculated considering the sudan grass dry mass production in each year, using the following equation (Trindade Júnior et al., 2015):

$$CC = FP/GP \cdot FS \quad (1)$$

CC: animal carrying capacity (kg of LW ha⁻¹); FP: forage productivity (kg DM ha⁻¹); GP: Grazing period (days); FS: forage supply (kg DM day⁻¹ kg⁻¹ LW).

The grazing period (GP) used was 60 days, because this is the interval between the recommended period for grazing beginning and the last performed harvest. The forage supply (FS) used was 4% (4 kg DM 100 kg⁻¹ LW).

Three scenarios of average daily liveweight gain (DLWG) were established considering the animal carrying capacity (CC), namely, 0.5, 1.0 and 1.5 kg LW day⁻¹, due to the range of normal

daily liveweight gain is a function of different dietary conversions (Glienke, 2012).

The initial liveweight (LW) used for simulation was 300 kg animal⁻¹, following the methodology described by Kirchner et al. (2019a). This liveweight is considered the average liveweight at the initial weight gain period (Kirchner et al., 2019a). The liveweight gain (LWG) was determined using the following equation:

$$\text{LWG} = (\text{CC}/\text{LW}) \cdot \text{DLWG} \cdot \text{GP} \quad (2)$$

LWG: liveweight gain (kg LW ha⁻¹); LW: animal weight (kg LW); DLWG: average daily liveweight gain (kg LW ha⁻¹ day⁻¹).

2.6 Gross revenue obtaining

The gross revenues for the different irrigation depths were estimated by the forage production conversion into liveweight gain and then multiplied by the average price.

$$\text{GR} = \text{LWG} \cdot \text{SP} \quad (3)$$

GR: gross revenue (R\$ ha⁻¹); SP: selling price per liveweight (R\$ LW kg⁻¹).

The average LW selling price of R\$ 6.50 kg⁻¹ was considered, according to average values observed in the region during 2019.

2.7 Forage production costs and economic return

Forage production costs were determined in four categories, used by Frizzone and Andrade Júnior (2005) and by Santos Júnior et al. (2014), namely fixed and variable costs, related and unrelated to irrigation, considering the net benefit for the irrigant.

The costs related to irrigation (CRI) were divided into fixed costs (FCRI) and variable costs (VCRI) of irrigation. These costs were determined considering a conventional sprinkler irrigation system project, according to the methodology proposed by Biscaro (2009).

For the conventional sprinkler irrigation system design, the following aspects were kept fixed: 5 m suction geometric height, 15 m discharge geometric height, 2 m slope of the mainline and lateral lines, 2 m sprinkler head height, 12 m sprinkler spacing, 100 m discharge pipe length, and 10 m suction pipe length. For the same sector, only one commercial pipe diameter was selected. The control of the lateral lines in operation was through ball valves.

Component prices were obtained from existing equipment in the region, namely blue PVC pipes (for irrigation), with commercial diameters and the most efficient nominal pressure for each sector (lateral lines, mainline, discharge, and suction lines). The total project cost for one hectare was R\$ 7278.25.

Fixed costs not related to irrigation (FCNRI) were determined considering all necessary operations and inputs (number of man-hours, number of machine-hours, depreciation, soil tillage, fertilizing, seeds, herbicides, fungicides, insecticides), following the methodology proposed by CONAB (2010).

Fixed cost related to irrigation (FCRI) was calculated using the following equation proposed by CONAB (2010):

$$\text{FCRI} = \text{DC} + \text{CI} + \text{IC} \quad (4)$$

FCRI: fixed cost related to irrigation (R\$ ha⁻¹); DC: depreciation cost of the components of the irrigation system (R\$ ha⁻¹); CI: cost interest on the invested capital (R\$ ha⁻¹); IC: insurance cost of components of the irrigation system (R\$ ha⁻¹).

Depreciation cost of the components of the irrigation system (DC) was calculated by the following equation (CONAB, 2010):

$$DC = [(VN - RV)/SLh] \cdot THWh \quad (5)$$

VN: purchase value of the new component (R\$ ha⁻¹); RV: residual value of the component (R\$ ha⁻¹); SLh: service life of the component (h); THWh: total hours worked by component (h).

The cost interest on the invested capital (CI) was determined considering 6.0% remuneration rate per year on the average value of the equipment, following the same methodology used for the other variables, as follows:

$$CI = \{[(VN \cdot QM)/2]/WC\} \cdot THWh \cdot J \quad (6)$$

QM: material quantity; WC: material working capacity (h); J: return rate

Residual value (RV) was calculated as 20% of the purchase value of the new component, considering the service life of 20 years. Insurance cost of components of the irrigation system (IC) was 0.35% of the purchase value of the new component (VN) (CONAB, 2010), as follows:

$$IC = (VN/2) \cdot 0.35 \cdot (THWh/SLh) \quad (7)$$

VN: purchase value of the new component (R\$ ha⁻¹); SLh: service life of the component (h); THWh: total hours worked by component (h).

Variable costs of irrigation (VCRI) were determined by the sum of the variable costs of electric energy for water depth application, labor used in irrigation and system maintenance:

$$VCRI = VCE + VCL + VCEM \quad (8)$$

VCRI: variable costs related to irrigation (R\$); VCE: variable cost of electricity (R\$); VCL: variable cost of labor used in irrigation (R\$); VCEM: variable cost of equipment maintenance (R\$).

Variable cost of electric energy (VCE) was calculated considering the pump power and the time for water depth application, as follows:

$$VCE = Pw \cdot CE \cdot t \cdot ID \quad (9)$$

Pw: pump power (Kw h⁻¹); CE: cost of electric energy (R\$ Kw⁻¹); t: time to apply one water millimeter (h mm⁻¹); ID: irrigation depth (mm ha⁻¹).

The CE used was 0.32 R\$ kW h⁻¹, considering the green rate set by National Electricity Agency (Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL), due to this is the average intermediate value.

The variable cost of labor used in irrigation (VCL) was calculated considering the proposed time of 0.5 hours per hectare in each sector of the system for each performed irrigation (Marouelli and Silva, 2011). The hour worked value was calculated according to the methodology proposed by CONAB (2010), with an hourly value equivalent to the rural minimum wage, according to the following equation:

$$VCL = NI \cdot NS \cdot 0.5 \cdot MW/220 \quad (10)$$

NI: number of irrigations; NS: number of sectors in the irrigation system; MW: rural minimum wage (R\$).

The irrigation system was composed of six sectors for one hectare. The rural minimum wage value considered was R\$ 1175.15.

The variable cost of equipment maintenance (VCEM) was determined over 1% of irrigation system value plus 10% of the CE, following the methodology proposed by CONAB (2010), according to the following equation:

$$VCEM = VN \cdot 0.01 \cdot (CE/10) \quad (11)$$

VN: purchase value of the new component (R\$ ha⁻¹); CE: cost of electric energy (R\$ Kw⁻¹).

The net revenue in the different scenarios (irrigated with 25, 50, 75, 100 and 125% of ETo, and without irrigation) for 0.5, 1.0 and 1.5 kg LW day⁻¹ was obtained by the following equation:

$$NR = GR - CNRI - FCRI - VCRI \quad (12)$$

NR: net revenue to the irrigating farmer (R\$ ha⁻¹); GR: gross revenue (R\$ ha⁻¹); CNRI: costs not related to irrigation (R\$ ha⁻¹); FCRI: fixed costs related to irrigation (R\$ ha⁻¹); VCRI: variable costs related to irrigation (R\$ ha⁻¹).

3. Results and Discussion

High effective rainfall occurred during the experiment conduction, in Year 1 accumulated effective rainfall was 458.04 mm, and 593.18 mm in Year 2. However, rainfall distribution in both years was irregular, with drought periods and consequent crop water stress, which requiring supplementary water by irrigation to provide the plants water demand (Table 1).

Table 1. Effective rainfall, irrigation depths and total irrigation depths for the different treatments performed in the 2015/2016 and 2016/2017 agricultural years

2015/2016			
Treatment	Effective rainfall	Irrigation depth	Total irrigation depth
(% of ETo)	mm	mm	mm
125	458.04	146.82	604.86
100		117.46	575.50
75		88.09	546.13
50		58.73	516.77
25		29.36	487.40
0		0.00	458.04
2016/2017			
Treatment	Effective rainfall	Irrigation depth	Total irrigation depth
(% of ETo)	mm	mm	mm
125	593.18	115.65	755.05
100		92.50	685.68
75		69.37	662.55
50		46.25	639.43
25		23.12	616.30
0		0.00	593.18

In Year 1, the treatment with irrigation depth of 100% of ETo was irrigated with 117.46 mm,

divided into seven applications. While, in Year 2, an irrigation depth of 92.5 mm was applied for the same treatment and also divided into seven applications, depending on rainfall distribution and crop water demand in each growing season (Figure 1).

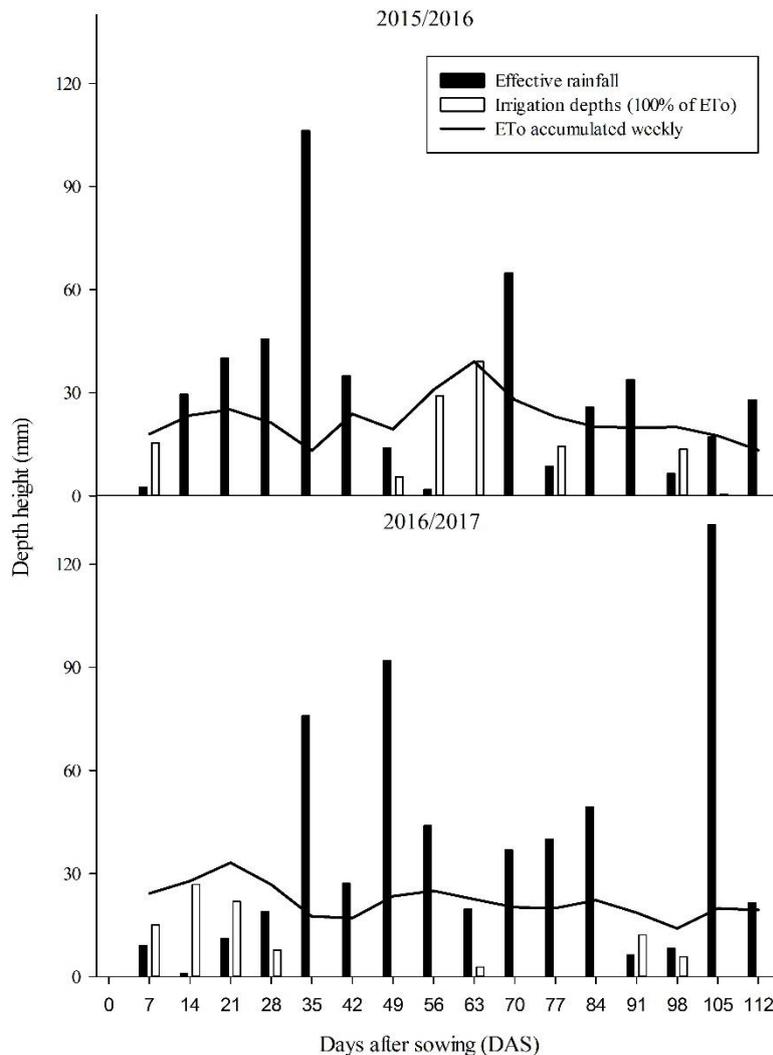


Figure 1. Reference evapotranspiration (ET_o), effective rainfall and weekly accumulated irrigation depth during the experiment conduction

Periods of water excess and periods of water stress where the crop evapotranspiration exceeded the rainfall during several weeks occurred over the cycle production (Figure 1). Because this rainfall and evapotranspiration distribution, water stress occurred between sowing and the first harvest in Year 2, implied in need four consecutive irrigations to water supply the crop demand. In Year 1, rainfall distribution exceeded the evapotranspirative demand during the most time of the experiment conduction, where only one irrigation was needed up to 50 DAS.

The not irrigated treatment (control) had high water stress in Year 2 compared to Year 1, mainly in the interval between the sowing and the first harvest. This interval has considered of the great importance to the forage potential definition, and water stress provides quality, tillering and dry mass production decrease throughout the cycle.

The water stress during the crop initial establishment and tillering leads to a drastic forage production decrease, since the main route for nutrient absorption occurs through the mass flow

in the soil solution (Reis et al., 2017). Thus, the water stress hinders the absorption and translocation of the nutrients to the growth points, which limits the plant development and tillering, and irrigation is recommended in order to guarantee high production rates and forage quality (Koetz et al., 2017).

The animal liveweight gain per hectare (Table 2) estimated based on the production of DM ha⁻¹, simulate expectations of daily weight gain per animal of 0.5, 1.0 and 1.5 kg LW day⁻¹, depending on the bovine breeds genetic diversity and the environmental conditions, which provide different feed conversions. Thus, making it possible to determine the average weight gain per hectare for each scenario, for the respective grazing period.

Table 2. Dry matter production under different irrigation depths converted to carrying capacity per hectare, with the respective liveweight gain simulations for both agricultural years

2015/2016										
Treat.	FP	GP	FS	AU	CC	DM	N	ALWG (kg ha ⁻¹)		
% ETo	kg ha ⁻¹	days	%	kg	kg LW ha ⁻¹ day ⁻¹	kg day ⁻¹	unity	0.5	1	1.5
125	14 079.07				5866.28	234.65	19.55	586.63	1173.26	1759.88
100	14 777.98				6157.49	246.30	20.52	615.75	1231.50	1847.25
75	13 892.59	60	4	300	5788.58	231.54	19.30	578.86	1157.72	1736.57
50	13 057.52				5440.63	217.63	18.14	544.06	1088.13	1632.19
25	11 728.26				4886.78	195.47	16.29	488.68	977.36	1466.03
0	10 605.78				4419.08	176.76	14.73	441.91	883.82	1325.72
2016/2017										
Treat.	FP	GP	FS	AU	CC	DM	N	ALWG (kg ha ⁻¹)		
% ETo	kg ha ⁻¹	days	%	kg	kg LW ha ⁻¹ day ⁻¹	kg day ⁻¹	unity	0.5	1	1.5
125	13 670.69				5696.12	227.84	18.99	569.61	1139.22	1708.84
100	14 256.94				5940.39	237.62	19.80	594.04	1188.08	1782.12
75	12 999.53	60	4	300	5416.47	216.66	18.05	541.65	1083.29	1624.94
50	11 244.32				4685.13	187.41	15.62	468.51	937.03	1405.54
25	9961.20				4150.50	166.02	13.84	415.05	830.10	1245.15
0	8439.53				3516.47	140.66	11.72	351.65	703.29	1054.94

Treat: treatment; FP: forage production; GP: grazing period; FS: forage supply; AU: animal unit; CC: carrying capacity; DM: forage dry mass; N: number of animals per hectare; ALWG: average liveweight gain during the period.

The forage production was statistically different at a 5% probability of error among the treatments for both two years of study. The sudan grass had forage production functions which

resulted in quadratic equations for both years, namely $y = -0.4578 x^2 + 94.363 x + 9577.5$ for Year 1 and $y = -0.4839 x^2 + 116.88 x + 7210$ for Year 2, with coefficients of determination (r^2) of 0.9658 and 0.9557, respectively.

The variable y corresponding to the total dry mass of forage production per hectare (kg DM ha^{-1}) obtained from the three harvestings (50, 80 and 110 DAS), and the variable x corresponding to the irrigation water depth to compensate the evapotranspiration (% of E_{To}). The water depths maximum technical efficiency, obtained by these quadratic equations, were 103.1% and 120.8% of E_{To} , respectively for Year 1 and Year 2, with forage yield of $14\ 851.9 \text{ kg DM ha}^{-1}$ and $14\ 267.7 \text{ kg DM ha}^{-1}$, respectively for Year 1 and Year 2.

Treatments without irrigation were considered as additional controls, due to forage production variation influenced by rainfall in each year. The variation between the two years was $2166.3 \text{ kg DM ha}^{-1}$, which represents 20.5% of the difference in the production.

The dry mass production variation between the control and the treatment with irrigation depth of 100% of E_{To} in Year 1 was $3453.29 \text{ kg DM ha}^{-1}$, which represents a production increase of 39%. While in Year 2, the difference in production between the same treatments was $5817.41 \text{ kg DM ha}^{-1}$, which represents an increase of 68% when properly irrigated. Although Year 2 had lower total production in all treatments compared to Year 1, the forage production amplitude was greater, due to the plant water stress during the period from sowing up to the 50 DAS.

Dry mass production increased as the irrigation depths increased until treatment with 100% of E_{To} in the two years of study. However, treatment with 125% of E_{To} lost the potential production, due to the water excess provided by irrigation throughout the crop cycle. This water excess in addition to decrease sudan grass production, also waste energy and water and increased cost production and environmental impact.

The carrying capacity (CC) per hectare varies depending on the dry mass production. The lowest dry mass production and the greatest CC variation between the two years of study for the treatment without irrigation, which had 902.6 kg of liveweight difference, equivalent to approximately 3 animals per hectare. While in the treatment with irrigation depth of 100% of E_{To} , the variation between the years was only 217 kg of liveweight, which represents a difference of less than one animal per hectare, confirming the capacity irrigation in keep the production stable over the years.

Highest and lowest carrying capacity per hectare occurred, respectively, in the treatment with irrigation depth of 100% of E_{To} and in the control treatment, with a $1447.2 \text{ kg ha}^{-1}$ of liveweight variation, which corresponds to 4.8 animals, in Year 1. In Year 2, the variation was greater for these treatments, with $2179.7 \text{ kg ha}^{-1}$ of liveweight, equivalent to 7.3 animals. These differences influenced the average liveweight gain per hectare considering feed conversion of one kilo per day, which ranged between the same treatments in $347.68 \text{ kg ha}^{-1}$ and $484.78 \text{ kg ha}^{-1}$, respectively for Year 1 and Year 2.

The performance of bred heifers in millet pastures reached $3119.9 \text{ kg LW ha}^{-1}$ in a study performed by Montagner et al. (2008), which is close to the results observed in the control treatment of this study.

The koronivia grass cultivation, in a study performed by Diavão et al. (2017), provided results similar to those obtained in this study, where the carrying capacity was $3080 \text{ kg LW ha}^{-1}$, which is close to the $3516 \text{ kg LW ha}^{-1}$ observed in the treatment without irrigation in Year 2. The differences in carrying capacity, for both millet and the koronivia grass, were attributed to the greater sudan grass productive potential.

The variable costs of the non-irrigated and irrigated production systems, and the treatments evaluated for the sudan grass cultivation are presented in Table 3.

Table 3. Costs of non-irrigated and irrigated production systems for Year 1 and Year 2 and the irrigation depths evaluated (25, 50, 75, 100 and 125% of ETo)

Production costs			
Variable	Irrigation depth (% ETo)	Year 1	Year 2
Fixed costs not related to irrigation (FCNRI)			
FCNRI		1556.10	1638.57
Fixed costs related to irrigation (FCRI)			
DC	All*	226.85	226.85
CI	All*	170.14	170.14
IC	All*	49.62	49.62
FCRI	All*	446.61	446.61
Variable costs related to irrigation (VCRI)			
VCE	25	22.31	17.57
	50	44.61	35.13
	75	66.92	52.70
	100	89.23	70.27
	125	111.53	87.83
VCL	All*	112.17	112.17
VCEM	25	20.43	19.95
	50	40.86	39.91
	75	61.28	59.86
	100	81.71	79.81
	125	102.14	99.76
VCRI	25	154.90	149.69
	50	197.64	187.21
	75	240.37	224.73
	100	283.10	262.25
	125	325.84	299.77

FCNRI: fixed costs not related to irrigation (R\$ ha⁻¹); FCRI: fixed costs related to irrigation (R\$ ha⁻¹); DC: depreciation cost of the components of the irrigation system (R\$ ha⁻¹); CI: cost interest on the invested capital (R\$ ha⁻¹); IC: insurance cost of components of the irrigation system (R\$ ha⁻¹); VCRI: variable costs related to irrigation (R\$ ha⁻¹); VCE: variable cost of electricity (R\$ ha⁻¹); VCL: variable cost of labor used in irrigation (R\$ ha⁻¹); VCEM: variable cost of equipment maintenance (R\$ ha⁻¹); All*: same variable cost for all irrigation depths.

The FCNRI range from R\$ ha⁻¹ 1556.10 in Year 1 up to R\$ ha⁻¹ 1638.57 in Year 2 due to the prices of agricultural inputs variation (herbicides, fungicides, insecticides, seeds, and NPK and urea fertilizers), since cultural management was performed in the same way in both two study years.

The R\$ ha⁻¹ 446.61 FCRI consists of depreciation cost of the components of the irrigation system, cost interest on the invested capital and insurance cost of components of the irrigation system. The FCRI the same for both years, since its costs are equally distributed over the service life of the components, which was considered as 20 years. The observed FCRI is in agreement with Barbosa (2015), that evaluated the economic viability of conventional irrigation for tomato cultivation and found the FCRI of R\$ ha⁻¹ 420.37.

In Year 1, the VCRI range from R\$ ha⁻¹ 154.90 in the treatment subjected to an irrigation depth of 25% of ETo, up to R\$ ha⁻¹ 325.84 in the treatment subjected to an irrigation depth of 125% of ETo. While, in Year 2, the VCRI ranged from R\$ ha⁻¹ 149.69 up to R\$ ha⁻¹ 299.77, respectively for the same treatments. This cost is comprised of VCE, VCL and VCEM, where the VCE range depending on the electricity demand to the application of different irrigation

depths. The VCL ranges according to the number of performed irrigations, regardless of the amount of water applied in each irrigation, as seven irrigations were performed over the two years of study, the VCL remained constant. The VCEM range according to the electricity cost for each treatment.

The VCRI amplitude in Year 1 was R\$ ha⁻¹ 170.94 between the treatments with irrigation depth of 25% and of 125% of ETo, while in Year 2, for the same treatments, the amplitude was R\$ ha⁻¹ 150.08. However, low variation (only R\$ ha⁻¹ 20.85) was observed by comparing the treatment with irrigation depth of 100% of ETo in Year 1 in relation to Year 2, due to the greater water amount applied in Year 1, which generates higher electricity and maintenance costs.

The conventional sprinkler irrigation system introduction in the sudan grass cropping, considering the treatment with the irrigation depth of 100% of ETo, increased the productive system cost in relation to the non-irrigated treatment in R\$ ha⁻¹ 729.71 for the Year 1, and R\$ ha⁻¹ 708.86 for the Year 2. The introduction of irrigation represented an increase of production costs in 47% and 43%, respectively.

The economic viability of sprinkler irrigation for the sugarcane cultivation was determined by Pereira et al. (2015), where the variable cost related to irrigation was R\$ ha⁻¹ 311.44 for the management with irrigation depth of 100% of ETo. This cost is higher than the cost observed in this study, with 9% of variation in relation to Year 1 and 16% for Year 2, due to the greater water volume applied.

The fixed cost related to irrigation determined by Castro Júnior et al. (2015) was R\$ ha⁻¹ 552.76, 19% higher than the value observed in this study, and was attributed to the service life of the system, considered 15 years, while for this study was considered 20 years. However, the production cost increased by the irrigation introduction was the same as in Year 1, of 47%, which reinforces the results observed in this study.

The production cost, in a study performed by Torres et al. (2019) for millet cropping, increased 39.5% with the irrigation introduction in relation to the non-irrigated treatment, for the region of Santa Maria-RS in the 2016/2017 agricultural years, which corroborates with this study.

The gross revenue, total cost (the sum of both fixed and variable, related and not related to irrigation costs), net revenue and the cost-benefit ratio of the three different daily liveweight gain scenarios, for each irrigation depth, for the two years of study, considering the average price per kilo of beef cattle liveweight for the study region of R\$ 6.50 are shown in Table 4.

Table 4. Daily liveweight gain (DLWG), gross revenue (GR), total cost (TC), net revenue (NR) and benefit/cost ratio (B/C) under different irrigation depths, in the two years of study

% ETo	DLWG kg dia ⁻¹	2015/2016				2016/2017			
		GR	TC	NR	B/C	GR	TC	NR	B/C
		R\$ ha ⁻¹							
0	0.5	2651.4	1556.1	1095.3	1.7	2109.9	1638.6	471.3	1.3
25		2932.1	2196.5	735.6	1.3	2490.1	2267.7	222.4	1.1
50		3264.4	2221.2	1043.1	1.5	2811.1	2281.2	529.8	1.2
75		3473.1	2246.0	1227.2	1.5	3249.9	2294.7	955.1	1.4
100		3694.5	2270.8	1423.7	1.6	3564.2	2308.3	1256.0	1.5
125		3519.8	2295.5	1224.3	1.5	3417.7	2321.8	1095.9	1.5

0		5302.9	1556.1	3746.8	3.4	4219.8	1638.6	2581.2	2.6
25		5864.1	2196.5	3667.6	2.7	4980.6	2267.7	2712.9	2.2
50	1	6528.8	2221.2	4307.5	2.9	5622.2	2281.2	3340.9	2.5
75		6946.3	2246.0	4700.3	3.1	6499.8	2294.7	4205.0	2.8
100		7389.0	2270.8	5118.2	3.3	7128.5	2308.3	4820.2	3.1
125		7039.5	2295.5	4744.0	3.1	6835.4	2321.8	4513.5	2.9
0		7954.3	1556.1	6398.2	5.1	6329.7	1638.6	4691.1	3.9
25		8796.2	2196.5	6599.7	4.0	7470.9	2267.7	5203.2	3.3
50	1.5	9793.1	2221.2	7571.9	4.4	8433.2	2281.2	6152.0	3.7
75		10 419.4	2246.0	8173.4	4.6	9749.7	2294.7	7454.9	4.2
100		11 083.5	2270.8	8812.7	4.9	10 692.7	2308.3	8384.5	4.6
125		10 559.3	2295.5	8263.8	4.6	10 253.0	2321.8	7931.2	4.4

The feed conversion is a fundamental factor for livestock profitability, providing a wide range of variation in net revenue due to daily liveweight gain (Table 4). The different feed conversions provided a difference in Year 1 for the same treatment (100% of ETo) of R\$ ha⁻¹ 7388.99 between the average liveweight gain of 0.5 kg LW day⁻¹ and 1.5 kg LW day⁻¹ scenarios, which represents a profitability increase of 519%. These values evidencing the use of good feed conversion animals importance, in order to obtain a substantial net revenue increase, mainly in irrigated areas that require a great financial investment.

In both years, for 0.5 kg LW day⁻¹ scenario, the treatment with the irrigation depth of 25% of ETo provided a lower net revenue than the control treatment. This lower net revenue was obtained due to the irrigation system costs combined with the low animals feed conversion, which considerably increasing costs without the proportional production increase. This result implies the proper irrigation management is essential to intensify production.

The net revenue provided by the irrigation depth of 100% of ETo in Year 1 was 36% higher than in the control treatment, considering the liveweight gain of 1.0 kg LW day⁻¹ scenario. While in Year 2, for the same treatments and liveweight gain scenario, net revenue difference between treatments was 86% higher for the irrigation depth of 100% of ETo, where this difference between years is attributed to the irregular rainfall distribution occurred during the crop cycle. Once, in Year 2, the control treatment had greater water stress, which compromises its economic return, while the irrigated treatments had lower water stress, greater production, and consequently greater net revenue.

The net revenue ranges 45% between the years of study for the non-irrigated, due to the rainfall irregularity over time, which leads the livestock production unstable and financially insecure, since the activity planning is susceptible to climatic variations. However, comparing the treatment with the irrigation depth of 100% of ETo between the two years, net revenue ranged only 6%, ensuring the planning of the farmer irrigator in relation to carrying capacity and net returns, which leads the activity more attractive and profitable, with the possibility steady economic returns over the years.

The irrigation depth of 100% of ETo was more profitable for the three simulated scenarios, in the two years of study, showing that the crop water demand must be fully supplied in order to obtain the greatest economic return. Even with the increase in total cost, net revenue was higher, due to the forage yield increase that exceeded production costs.

These obtained results are in agreement with those obtained by Torres et al. (2019), which evaluating the irrigation economic return for the millet cropping in the region of Santa Maria-RS and Santiago-RS, at the same period of the Year 1, and considering an expected liveweight gain of 1.0 kg LW day⁻¹. Net revenue increased 26% and 44% with an irrigation depth of 100% of ETo compared to non-irrigated treatment in the region of Santa Maria-RS and Santiago-RS, respectively (Torres et al., 2019). The net revenue of 36% found in this study is intermediate to those increases observed by Torres et al. (2019).

The economic viability of conventional sprinkler irrigation for the forage sorghum for beef cattle, at the same time and place of Year 1 and Year 2, Kirchner et al. (2019a) observed results that are in agreement with those observed in this study, where the irrigation depth of 100% of ETo was most financially profitable in both years. The net revenue was 23% in Year 1 and 61% in Year 2 higher with the irrigation depth of 100% of ETo in relation to the treatment control, been R\$ 4478.96 in Year 1 and R\$ 4350.20 in Year 2, considering a liveweight gain of 1.0 kg LW day⁻¹ and the meat price of R\$ 6.00 kg⁻¹ (Kirchner et al., 2019a). This net revenue difference between studies is attributed to the higher sudan grass production and to the meat price of R\$ 6.50 kg⁻¹.

The benefit/cost ratios of the production systems were feasible, with the benefits greater than the costs for all treatments in both years. In Year 1, the highest benefit/cost ratio was provided by treatment without irrigation (control), with a profit of R\$ 3.40 for each R\$ 1.00 invested, considering an expectation of a liveweight gain of 1 kg LW day⁻¹. However, the highest net income was obtained with the irrigation depth of 100% of ETo, where the benefit/cost ratio was R\$ 3.30.

In Year 2, considering the same daily liveweight gain, the benefit/cost ratio was R\$ 2.60 for non-irrigated treatment (control), due to the greater water stress occurred. The benefit/cost ratio was higher for irrigated treatments from irrigation depth of 75% of ETo, while the highest value was obtained for treatment with the irrigation depth of 100% of ETo, namely R\$ 3.10. This indicator shows that productive systems with the introduction of irrigation depth with a high percentage of water supplementation are economically efficient, and maintain the economic gains stable.

The benefit/cost ratio found by Montagner et al. (2008) reinforces the results observed in this study. In the heifer rearing with millet pastures, these authors found the benefit/cost ratio ranging between R\$ 2.60 and R\$ 3.30. Similar results was obtained by Kirchner et al. (2019b), that studied the economic viability indicators of irrigation for forage sorghum cropping for beef cattle in the region of Santa Maria-RS and obtained benefit/cost ratio of R\$ 3.16 in 2015/2016 and R\$ 2.41 in 2016/2017, considering the treatment with irrigation depth of 100% of ETo and expected liveweight gain of 1.0 kg LW day⁻¹ in both years.

4. Conclusion

Conventional sprinkler irrigation for the sudan grass cultivation for beef cattle production is economically viable. Irrigation is an important alternative to intensify and stabilize production over the years, and significantly increase the net revenue of the livestock activity. Although the viability is dependent on the rainfall volume and distribution, irrigation provides great benefits, mainly in drought years and/or in years with irregular rainfall distribution, and provides stable production over the years.

The economic viability of irrigation for beef cattle is also dependent of the feed conversion efficiency of grazing animals because this factor represented the highest source of net revenue

variation, followed by the rainfall distribution during the crop growing period.

The sudan grass water demand must be fully supplied by irrigation, even with costs increasing, because the increase in forage production provided by the full irrigation supply leads to greater net revenue.

Acknowledgement

We thank Coordination of Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for the financial support in the stipend and fellowship study, and to the Federal University of Santa Maria, for the study area and infrastructure.

References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, J. (2006). *Evapotranspiration del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO (Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).
- Almeida, V., Alves Júnior, J., Mesquita, M., Evangelista, A. W. P., Casaroli, D., & Battisti, R. (2018). Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial. *Global Science and Technology*, 11(2), 256-273.
- Associação Brasileira de Indústrias Exportadoras de Carne – ABIEC. (2019). *Perfil da Pecuária no Brasil Relatório Anual*. <http://www.abiec.com.br/control/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>
- Ayas, S., Orta, H., & Yazgan, S. (2011). Deficit irrigation effects on broccoli (*Brassica oleracea* var. *Monet*) yield in unheated greenhouse condition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(4), 551-559.
- Barbosa, M. A. G. (2015). Viabilidade de investimento e análise de risco econômico em projetos de irrigação para produção de tomate no agropolo Ibicara-Mucugê, Bahia. *Tese de doutorado*, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, Brasil. <http://www.repositorio.ufrb.edu.br/bitstream/123456789/925/1/MURILLO%20ANDERSON%20GON%C3%87ALVES%20BARBOSA%20-%20TESE.pdf>
- Bernardo, S., Soares, A. A., & Mantovani, E. C. (2008). *Manual de irrigação*. Viçosa, SP: Ed. UFV.
- Biscaro, G. A. *Sistemas de irrigação por aspersão*. (2009) Dourados, MS: Ed. UFGD.
- Castro Júnior, W. L., Oliveira, R. A., Silveira, S. F. R., & Andrade Júnior, A. S. (2015). Viabilidade econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi, na região dos Cocais - MA. *Revista Engenharia Agrícola*, 35(3), 406-418. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agríc.v35n3p406-418/2015>
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFS RS/SC. (2016). *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 11. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. (2010). *Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB*. Brasília: CONAB.

- Diavão, J., Schmitt, D., Medeiros-Neto, C., Martins, C. D. M. & Sbrissia, A. F. (2017). Acúmulo de forragem durante o período de ocupação dos animais em pastos sob lotação intermitente. *Revista ciência animal brasileira*, 18, 1-11, e-41359. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v18e-41359>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2011). *Manual de métodos de análise de solos*. (2a ed.) Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2014). *Revista Do Produtor: Bagé-RS*. https://www.embrapa.br/documents/1355035/2751150/revista_marco_2014.pdf/299549c8-1b1d-4f0e-b34a-cdcc897de970
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2018). *Cultivar de capim-sudão –BRS-Estribo*. <https://www.embrapa.br/en/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/905/cultivar-de-capim-sudao---brs-estribo>
- Ferreira, E., Cavalcanti, P. E & Nogueira, D. (2014). ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. *Applied Mathematics*, 5, 2952-2958. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>
- Frizzone, J.A. e Andrade Júnior, A.S. (2005). *Planejamento da irrigação: Análise de decisão de investimento*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.
- Glienke, C.L. (2012). Estudo da recria de novilhas em corte em pastagens cultivadas de verão. *Tese de Doutorado*, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4335/GLINKE%2c%20CARINE%20LISETE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2017). *Censo agropecuário*. <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br>
- IUSS Working Group, 2015. *WRB World reference base for soil resources 2015*. World Soil Resources Reports (103). FAO, Rome.
- Kirchner, J. H., Robaina, A. D., Peiter, M. X., Torres, R. R., Mezzomo, W., & Pimenta, B. D. (2019a). Viabilidade financeira da irrigação em sorgo forrageiro em sistema de aspersão para bovinocultura de corte. *Revista Irriga*, 24(1). <https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n1p143-161>
- Kirchner, J. H., Robaina, A. D., Peiter, M. X., Torres, R. R., Mezzomo, W., & Ben, L. H. B. (2019b). Indicadores de viabilidade econômica de produção irrigada de sorgo forrageiro para bovinocultura de corte. *Revista Irriga*, 24(4), 843-860. <https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n4p843-860>
- Koetz, M., Bär, C. S. L. E. L., Pacheco, A. B., Castro, W. J. R., Crisostomo, W. L., & Silva, E. M. B. (2017). Produção e eficiência no uso da água do capim paiaguás sob tensões de água no solo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(1), 1223-1232. doi: 10.7127/rbai.v11n100571
- Lima Junior, J. A., Pereira, G. M., Geisenhoff, L. O., Silva, W. G., Souza, R. O. R. M., & Vilas Boas, R. C. (2014). Economic viability of a drip irrigation system on carrot crop. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 57(1), 15-21. <https://doi.org/10.4322/rca.2013.060>
- Marouelli, W. A., & Silva, W. L. C. (2011) *Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças*. 2.

ed. Circular Técnica 11. Brasília: Embrapa Hortaliças, 20 p.

Mendonça, F. C., Camargo, A. C., Stivari, A., Lima, C. R. C., Ferreira, F. C., Akinaga, L., ... Neto, P. Q. (2007). Dimensionamento de sistemas de irrigação para pastagens em propriedades de agricultura familiar. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / EMBRAPA Pecuária Sudeste*, 10.

Millar, A. A. (1978). *Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas*. São Paulo, SP: McGraw-Hill do Brasil, LTDA.

Montagner, D. B., Rocha, M. G., Santos, D. T., Genro, T. C. M., Quadros, F. L. F., Roman, J., Potter, L., & Bremm, C. (2008). Manejo da pastagem de milho para recria novilhas de corte. *Ciência Rural*, 38(8), 2293-2299. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000800031>.

Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., & Pereira, L. S. (2014). Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. *Agricultural Water Management*, 135(1), 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.12.010>

Pereira, R. M., Alves Júnior, J., Casaroli, D., Sales, D. L., Rodriguez, W. D. M., & Souza, J. M. F. (2015). Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. *Revista Irriga*, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, 1(2), 149-157. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p149>

R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Reis, M. M., Santos, L. D. T., Oliveira, F. G., & Santos, M. V. (2017). Irrigação de pastagens tropicais: desafios e perspectivas. *Revista Unimontes Científica*, Montes Claros, 19(1), 178-190.

Santos Júnior, J. L. C., Frizzone, J. A., & Paz, V. P. S. (2014). Otimização do uso da água no perímetro irrigado formoso aplicando lâminas máximas de água. *Revista Irriga*, 19(2), 196-206. <https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n2p196>

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., ... Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA. 356 p.

Silva, F. A., Freitas, F. C. L., Rocha, P. R. R., Cunha, J. L. X. L., Dombroski, J. L. D., Coelho, M. E. H., & Lima, M. F. P. (2015). Milho para ensilagem cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional sob efeito de veranico. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(1), 327-340. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n1p327>

Silva, W. G., Carvalho, J. A., Oliveira, E. C., Lima Junior, J. A., & Silva, B. M. (2013). Technical and economic analysis of irrigation of asparagus bean in protected environment. *Revista Engenharia Agrícola*, 33(4), 658-688. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000400007>

Silveira, M. C. T., Sant'Anna, D. M., Montardo, D. P., & Trentin, G. (2015). Aspectos relativos à implantação e manejo de capim sudão BRS Estribo. EMBRAPA. *Comunicado Técnico 89*, Bagé – RS. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135361/1/COT89online.pdf>

Soares, J. C. R., Barcellos, J. O. J., Queiroz Filho L. A. V., Oaigen, M. E. A., Canozzi, C. M., Drumond, L. C. D., & Braccini Neto, J. (2015). Avaliação econômica da terminação de bovinos de corte em pastagem irrigada. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 67(4), 1096-1104. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-7340>

Torres, R. R., Robaina, A. D., Peiter, M.X., Ben, L. H. B., Mezzomo, W., Kirchner, J. H., ... Girardi, L. B. (2019). Economic of the irrigated production of forage millet. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(2), 623-638. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p623>

Trindade, Junior. G., Silva, R. R., Carvalho, G. G. P., Silva, F. F., Negrão, J.A., Barroso, D. S., ... Costa, P. B. (2015). Compensatory gain of crossbred heifers supplemented in pastures under evaluation hormonal profile and blood parameters. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(3), 1481-1494. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1481>

Wollmann, C. A., & Galvani, E. (2012) Caracterização climática regional do Rio Grande do Sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. *Revista Brasileira de Climatologia*, 11(8), 87-103. <https://doi.org/10.5380/abclima.v11i0.28586>

Zhang, G., Liu, C., Xiao, C, Xie, R., Ming, B., Hou, P., Li, S. (2017). Optimizing water use efficiency and economic return of super high yield spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of china. *Field Crops Research*, 211(1), 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.026>

Artigo 3 – Publicado na Revista IRRIGA v. 26, n. 1, p. 165-185, 2021

CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DO CAPIM SUDÃO (BRS ESTRIBO) SOB DIFERENTES LÂMINAS SUPLEMENTARES DE IRRIGAÇÃO

1. RESUMO

O uso de pastagens é a forma mais economicamente viável para alimentação bovina. São fatores biométricos determinantes para o conhecimento da qualidade e determinação da produtividade das forrageiras usadas como pastagens: altura de plantas, diâmetro e altura dos colmos e relação folha/colmo. Neste trabalho, objetivou-se avaliar as características biométricas do capim Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), cultivar BRS Estribo, em três cortes de uniformização, sob diferentes lâminas de irrigação. O experimento foi conduzido no município de Santa Maria-RS, Brasil, em dois anos agrícolas: 2015/2016 e 2016/2017. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, composto por quatro blocos, com cinco tratamentos por bloco, mais a testemunha. Os tratamentos consistiram na aplicação de lâminas de irrigação suplementar equivalentes a: 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência (ET_o). Foram avaliados: altura de plantas, diâmetro e altura dos colmos e a relação folha/colmo. Observou-se significância estatística para todos os fatores analisados, exceto para a relação folha/colmo. À medida que as lâminas de irrigação aumentaram até o tratamento com 100% da ET_o, observou-se incrementos na altura das plantas e diâmetro e altura dos colmos, portanto, para potencializar o desenvolvimento desses fatores, recomenda-se que a demanda hídrica do capim Sudão seja integralmente suprida.

Palavras chave: *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf., altura de plantas, diâmetro de colmos, relação folha/colmo.

BIOMETRIC CHARACTERISTICS OF SUDAN GRASS (BRS ESTRIBO) UNDER DIFFERENT SUPPLEMENTAL IRRIGATION DEPTHS

2. ABSTRACT

The use of pastures is the most economically viable way to feed beef/dairy cattle. The biometric plant factors: plant height, diameter and height of stems and leaf/stem ratio, are determining factors for quality assessment and determination of the productivity of forages used as pastures. In this work, the objective was to evaluate the biometric characteristics of Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), cultivar BRS Estribo, in three uniformity cuts under different irrigation depths. The experiment was conducted in the municipality of Santa Maria-RS, Brazil, in two agricultural years: 2015/2016 and 2016/2017. The experimental design used was randomized blocks, composed by four blocks, with five treatments per block, plus the control treatment. The treatments consisted of the application of supplemental irrigation depths equivalent to: 25, 50, 75, 100 and 125% of the reference evapotranspiration (ET_o). The

following factors were evaluated: plant height, diameter and height of stems and leaf/stem ratio. Statistical significance was observed for all factors analyzed, except for the leaf/stem ratio. As the supplemental irrigation depths increased until treatment with 100% of ETo, increments in plant height and diameter and height of stems were observed; therefore, in order to enhance the development of these factors, it is recommended that the water requirements of Sudan grass be fully met.

Keywords: *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf., plant height, stem diameter, leaf / stem ratio.

3. INTRODUÇÃO

No Brasil, a pecuária apresenta grande relevância econômica, sendo responsável por cerca de 9% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. É considerada uma atividade de baixo custo quando a alimentação bovina é baseada no uso de pastagens cultivadas com forrageiras, entretanto, ainda é necessário melhorar quantitativamente e qualitativamente as condições de manejo das culturas forrageiras, a fim de intensificar a atividade pecuária e elevar os índices produtivos (MEZZOMO et al., 2020a).

Dentre as atuais opções de forrageiras para pastagem, o capim Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), cultivar BRS Estribo, vem se destacando, uma vez que apresenta elevada produção, boa relação folha colmo-1, longo ciclo de produção, possibilidade de semeadura precoce, maior perfilhamento, flexibilidade de manejo e rusticidade no que refere às condições nutricionais do solo (EMBRAPA, 2014).

O capim Sudão é uma gramínea anual de verão, que pode ser utilizada sob diferentes manejos e para distintas finalidades, sendo indicada para o pastejo, fenação, forragem picada, silagem e até mesmo para a cobertura do solo, pois conta com um sistema radicular vigoroso e possui alto potencial para a produção de massa seca, promovendo a estruturação do solo e a ciclagem de nutrientes (EMBRAPA, 2014; SOUZA; INOMOTO, 2019). A necessidade hídrica durante o desenvolvimento da cultura, varia entre 350 mm à 700 mm, dependendo das condições meteorológicas, manejo e duração do ciclo (SILVEIRA et al., 2015).

Para melhorar a qualidade e a produtividade das pastagens cultivadas com forrageiras, a demanda hídrica da cultivar escolhida deve ser adequadamente atendida, sendo a irrigação considerada uma das principais técnicas responsáveis pelo incremento e estabilização da produção forrageira. No período de primavera-verão é característico no sul do Brasil a irregularidade nas distribuições pluviométricas, ocasionando períodos de déficit hídrico às plantas, acarretando na redução da produtividade do sistema agropecuário de forma proporcional à sua duração e intensidade (MEZZOMO et al., 2020b; RAY et al., 2015; VIVAN et al., 2015).

Diante desse cenário, a análise dos parâmetros de crescimento das pastagens irrigadas, tais como: altura total de plantas, diâmetros de colmos e relação folha/colmo sob diferentes lâminas de irrigação, apresenta-se como uma importante ferramenta na definição de estratégias de manejo para a intensificação da produção e da qualidade forrageira (KIRCHNER et al., 2020).

Os diferentes manejos da disponibilidade hídrica, interferem diretamente no crescimento e na qualidade das culturas forrageiras, afetando variáveis como o diâmetro de colmo e altura total de plantas, as quais são parcialmente responsáveis pela formação do volume total da massa seca produzida (KIRCHNER et al., 2020), influenciando ainda a proporção entre folhas e colmos.

A relação folha/colmo (F/C) pode ser utilizada como indicadora da qualidade forrageira, uma vez que à medida que o valor desta relação aumenta, a qualidade melhora, devido aos maiores valores proteicos, melhor palatabilidade e digestibilidade, que refletem no aumento do consumo pelos animais e, conseqüentemente, proporcionam rápido ganho de peso (CASTAGNARA et al., 2011; RODRIGUES et al., 2008).

A relação folha/colmo tem sido aceita como um índice de qualidade nutricional das pastagens, sendo apontada como um dos principais parâmetros para a alimentação de ruminantes (SANTOS et al., 2011). Dessa forma, para a intensificação da atividade pecuária, é essencial a adoção de técnicas que auxiliem no aumento da relação F/C em culturas forrageiras, uma vez que técnicas adequadas podem resultar em incrementos na qualidade da forragem produzida, melhorando o desempenho animal.

Dados para o capim Sudão (BRS Estribo) irrigado, relativos à relação F/C e aos parâmetros biométricos, como: altura de inserção da última folha, altura total de plantas e diâmetro de colmos são escassos e divergentes, sendo fundamental a definição efetiva desses parâmetros a fim de auxiliar o produtor na correta tomada de decisão.

Nesse contexto, objetivou-se neste trabalho determinar as características biométricas do capim Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), cultivar BRS Estribo, em três cortes de uniformização, sob diferentes lâminas de irrigação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada no município de Santa Maria-RS, em dois anos agrícolas: 2015/2016 (ano 1) e 2016/2017 (ano 2).

4.1 Caracterização da área experimental

No local do estudo o clima é subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação climática de Köppen (WOLLMANN; GALVANI, 2012). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo Eutrófico típico (SANTOS et al., 2018), apresentando concentrações de areia, silte e argila conforme os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas do solo Argissolo Amarelo Eutrófico típico, valores médios de três repetições.

Prof. da amostra	Distribuição granulométrica			Classe textural
	Areia	Silte	Argila	
cm	%			
0-20	37,91	41,95	20,14	Franco
20-40	32,27	38,3	29,44	Franco argiloso
40-60	27,71	26,16	46,13	Argiloso
60-80	16,2	28,86	54,94	Argiloso
80-100	17,98	42,16	40	Argilo siltoso

As características físico-hídricas do solo foram determinadas por meio da metodologia

proposta pela Empresa Brasileira de Agropecuária - EMBRAPA (2011), apresentando uma capacidade total de água no solo (CTA) até os 50 cm de profundidade de 64,3 mm, conforme é apresentado por camadas na Tabela 2. Na Tabela 2, também estão apresentados os valores referentes aos seguintes parâmetros: disponibilidade total de água no solo (DTA), fator de depleção (f), capacidade real de água no solo (CRA), irrigação real necessária (IRN), irrigação real necessária total acumulada (IRN Total), evapotranspiração de referência máxima (ET_o) e turno de rega (TR).

Tabela 2. Caracterização hídrica do solo e da necessidade de irrigação.

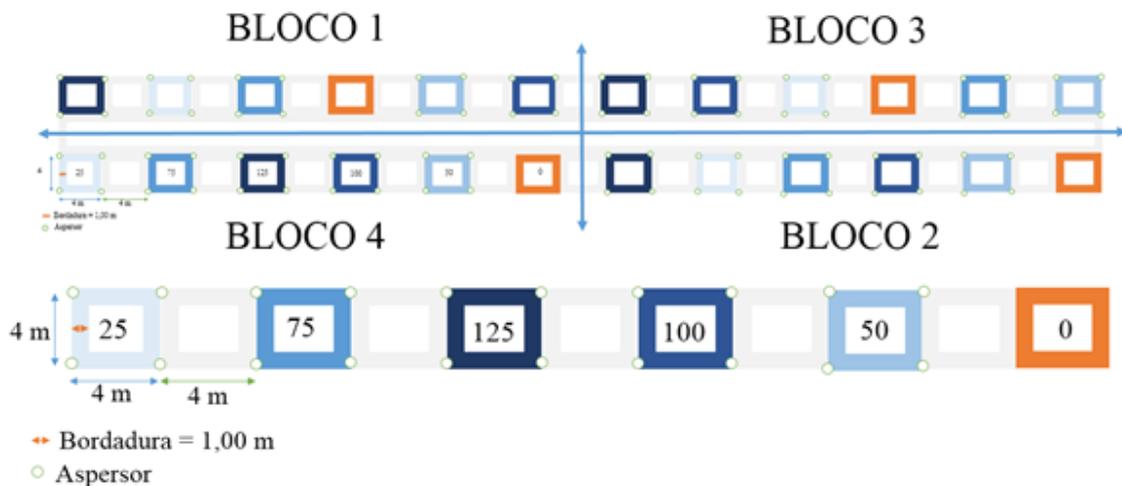
Profundidade	DTA	f	CTA	CRA	IRN	IRN Total	ET _o	TR
cm	mm cm ⁻¹				mm			dias
0 - 20	1,3		25,0	15,0	15,0			
20 - 40	1,4	0,6	27,9	16,7	16,7	38,6	5,55	7
40 - 50	1,1		11,4	6,8	6,8			

A velocidade de infiltração básica do solo (VIB) foi determinada através da metodologia dos anéis concêntricos, sendo obtido o valor de 15 mm hora⁻¹.

4.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, composto por quatro blocos (repetições), com cinco tratamentos por bloco, mais a testemunha, constituindo assim um total de 24 unidades experimentais (UE). Cada UE apresentava dimensões de 4 x 4 m, totalizando uma área de 16 m², sendo considerado 1 m como bordadura. Entre os tratamentos foram deixados espaços livres de 4 m, para que não houvesse interferência na aplicação de água entre as distintas lâminas de irrigação, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Croqui representando as quatro repetições (blocos), com detalhamento de um bloco experimental com as lâminas de irrigação aplicadas: 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ET_o, mais o tratamento testemunha.



4.3 Caracterização do sistema de irrigação, manejo e condições climáticas

A irrigação foi realizada através de um sistema de aspersão convencional, composto por uma linha principal medindo 100 m de comprimento conectado a vinte e quatro linhas laterais fixas de 24 m de comprimento, com espaçamentos entre linhas laterais e aspersores de 4 m x 4 m, de acordo com a Figura 1. Os aspersores utilizados foram da marca AgroJet, modelo P51/2, apresentando uma vazão em cada emissor de $195,2 \text{ L h}^{-1}$, a pressão de serviço foi de 9 mca, com uma taxa de aplicação de $12,2 \text{ mm hora}^{-1}$ (inferior a VIB).

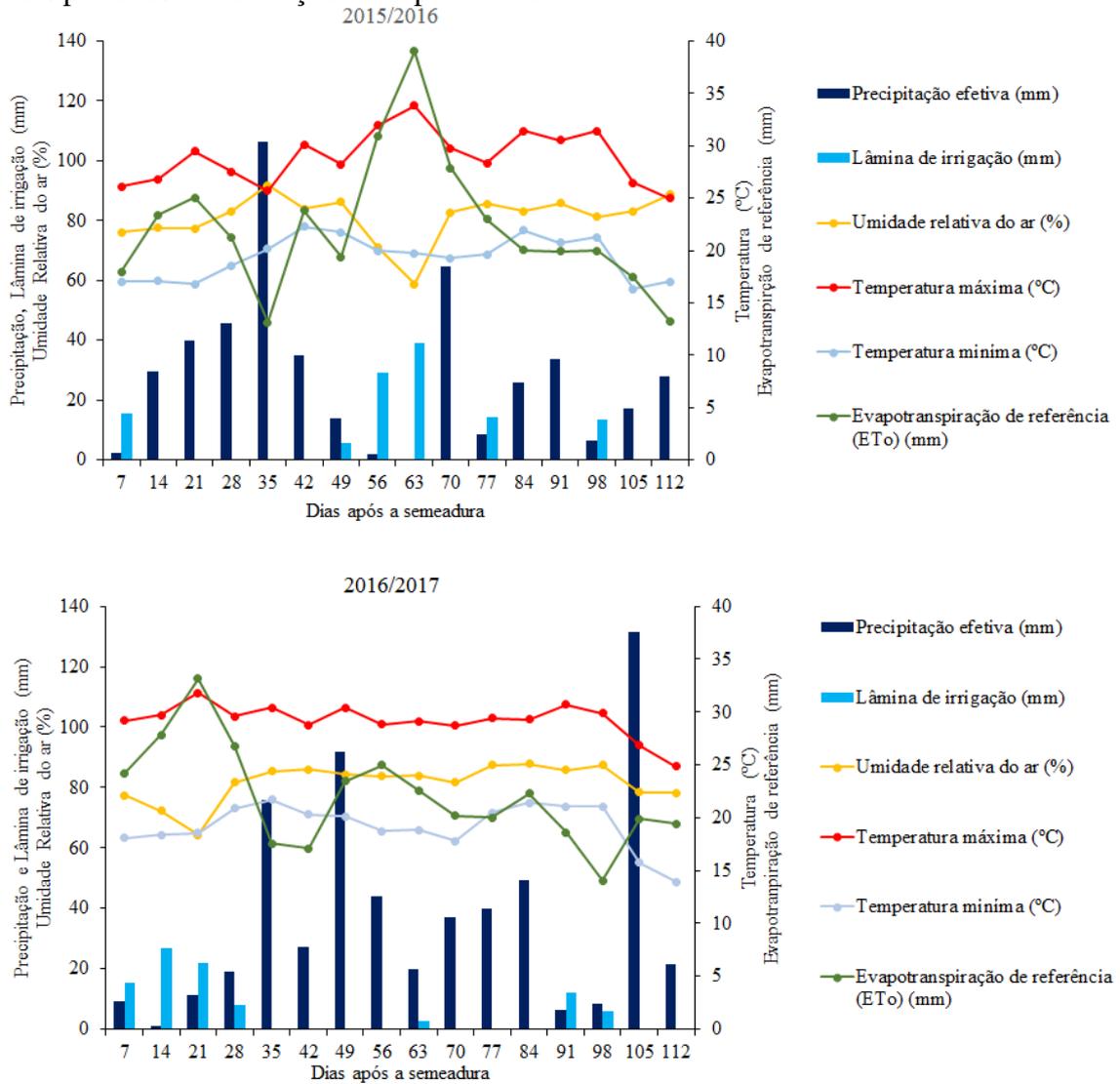
Foram utilizados microaspersores devido a limitação em relação ao tamanho da área experimental, ressalta-se que o uso desse sistema para irrigação de pastagens é inviável economicamente. Os microaspersores foram conectados a hastes de 1,5 m em relação ao solo, devido à altura das plantas, uma vez que o manejo foi feito sob cortes de uniformização aos 50, 80 e 110 dias após a semeadura.

A diferenciação das lâminas de irrigação foi realizada de acordo com cada tratamento pré-estabelecido, pela variação do tempo de abertura dos registros, localizados no início de cada linha lateral. A calibração das lâminas de irrigação foi realizada por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o qual apresentou uma uniformidade de aplicação de 83%.

Os tratamentos testados consistiram na aplicação de lâminas de irrigação suplementar à precipitação efetiva, equivalentes a 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência (ET_o), com a determinação da ET_o pela equação de Penman-Monteith/FAO (ALLEN et al., 2006). Os parâmetros meteorológicos necessários para o cálculo da ET_o, foram coletados de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, que está localizada a 1.500 m da área experimental.

As irrigações, com turno de rega fixo de sete dias, foram realizadas sempre que a precipitação efetiva não supriu adequadamente a ET_o do período, como mostra a Figura 2. A determinação da precipitação efetiva foi realizada pela metodologia proposta por Millar (1978), sendo esta igual a 70%, o que significa, que 30% da precipitação está sendo perdida por escoamento superficial.

Figura 2. Precipitação efetiva, umidade relativa do ar, temperatura máxima e mínima, evapotranspiração de referência (ET_o) e lâmina de irrigação acumulada semanalmente durante os dois períodos de condução do experimento.



Observa-se que em ambos os anos agrícolas a distribuição pluviométrica foi irregular, ocorrendo períodos de excesso e outros de estresse hídrico, no Ano 1 (2015/2016) a distribuição pluviométrica excedeu a demanda evapotranspirativa durante quase todo o período do primeiro corte, sendo necessária apenas uma irrigação. No Ano 1, o período de maior déficit de precipitação ocorreu entre 49 e 63 DAS, já no Ano 2 (2016/2017) o maior estresse hídrico observado, ocorreu no período que compreendeu a data da semeadura até 28 DAS.

As precipitações efetivas acumuladas foram de 458,04 mm no Ano 1 e de 593,18 mm no Ano 2, como mostra a Tabela 3, que também apresenta os volumes de água aplicados via irrigação em cada tratamento, assim como a lâmina total (precipitação efetiva + lâmina de irrigação).

Tabela 3. Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e lâmina total de acordo com os diferentes tratamentos utilizados nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2).

ANO AGRÍCOLA 2015/2016 (Ano 1)			
Tratamento	Precipitação Efetiva	Lâmina de Irrigação	Lâmina Total
(% ET_o)		(mm)	
125	458,04	146,82	604,86
100		117,46	575,5
75		88,09	546,13
50		58,73	516,77
25		29,36	487,4
0		0	458,04
ANO AGRÍCOLA 2016/2017 (Ano 2)			
Tratamento	Precipitação Efetiva	Lâmina de Irrigação	Lâmina Total
(% ET_o)		(mm)	
125	593,18	115,62	708,08
100		92,5	685,68
75		69,37	662,55
50		46,25	639,43
25		23,12	616,3
0		0	593,18

4.4 Manejo do capim Sudão

A semeadura do capim Sudão (BRS Estribo), foi em sistema de plantio direto, sendo realizada no Ano 1 em 24 de novembro de 2015 e no Ano 2 em 29 de novembro de 2016, a densidade de semeadura foi de 25 sementes por metro linear, com espaçamento entre linhas de 0,36 m.

A adubação foi realizada na linha de semeadura, com uma expectativa de altíssimo rendimento de forragem para sistemas intensivos irrigados, objetivando a produção máxima da cultura, sendo considerado uma produção de 20.000 kg ha⁻¹ de massa seca por ano, conforme indicações do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 2016). Como adubação de base foram aplicados 850 kg ha⁻¹ de formulado 5-20-20 de nitrogênio (N) fósforo (P) e potássio (K), respectivamente.

A suplementação da fertilização nitrogenada foi fracionada da seguinte forma, a primeira aplicação foi realizada no perfilhamento (25 dias após a semeadura (DAS)). A segunda e terceira aplicação foram após os corte (50 e 80 DAS). Sendo a quantidade a ser aplicada, determinada pelo teor de matéria orgânica do solo, como mostra a Tabela 4, foram aplicados 160 kg ha⁻¹ de ureia em cada período, sendo o somatório da fertilização nitrogenada durante o ciclo da cultura de 480 kg ha⁻¹ de ureia (44% de N), o ciclo considerado nesse estudo foi de 110

DAS. Ressalta-se que dependendo do manejo, da produção mínima esperada e das condições climáticas, o ciclo do capim Sudão pode se estender a 210 DAS.

Tabela 4. Análise química do solo.

Prof. (cm)	pH	M.O	Areia	Silte	Argila	Saturação		
	H ₂ O	m v ⁻¹			Al	V		
	(1:1)	%			%			
0-10	6,2	2,3	38	42	20	0	77,3	
Teor Trocável g 100 g⁻¹ de Solo								
CTC pH7	Ca	Mg	Al	H + Al	K	P-Mehlich	SMP	
	cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³				
	10,9	5,6	2,5	0	2,5	144	11,8	6,5

Onde: M.O = Matéria Orgânica; CTC = Capacidade de Troca de Cátions.

As aplicações de inseticidas, fungicidas e herbicidas foram realizadas de forma preventiva ou quando os primeiros sintomas foram observados, sendo realizadas de forma homogênea em toda área experimental.

Objetivando a semeadura em área limpa, foram realizadas a aplicação de dois grupos diferentes de herbicidas aos 25 dias antes da semeadura nos Anos 1 e 2, sendo eles o Glifosato na dosagem comercial de 2,5 L ha⁻¹ (1200 g L⁻¹ de ingrediente ativo (i.a.)) e 2,4-D na dosagem de 1,5 L ha⁻¹ (1005 g L⁻¹ de i. a.), ressalta-se que na época da aplicação dos herbicidas o uso do produto 2,4-D encontrava-se liberado.

O controle de doenças fúngicas foi realizado de maneira preventiva aos 30 DAS em ambos os anos, sendo necessária mais uma aplicação aos 95 DAS no Ano 1 e aos 65 DAS no Ano 2, logo que observados os primeiros sinais da doença, para que assim não houvesse interferência na produção. Para controlar a ferrugem (*Puccinia purpurea*), o fungicida Tebuconazol foi utilizado na dosagem de 1 L ha⁻¹ (200 g L⁻¹ de i. a.).

O capim Sudão apresenta rusticidade a incidência de doenças fúngicas, porém, diante de condições climáticas e ambientais adequadas à proliferação de fungos como temperaturas amenas e alta umidade relativa do ar, podem ocorrer a incidência de algumas doenças como a ferrugem (*Puccinia purpurea*), antracnose (*Colletotrichum sublineolum*), míldio (*Peronosclerospora sorghi*), helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*) e ergot (*Claviceps africana*).

O controle de pragas foi realizado por meio do inseticida Clorpirifós na dosagem de 0,6 L ha⁻¹ (480 g L de i. a.) com 150 L ha⁻¹ de volume de calda, foram realizadas três aplicações em ambos os anos, aos 30, 65 e 95 DAS, sendo as lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), a principal praga encontrada.

4.5 Relação folha/colmo

A relação folha/colmo foi determinada por meio da relação entre a massa seca de folhas e de colmos, sendo verificada nas respectivas épocas de corte da forrageira.

Após as coletas, as amostras foram levadas ao laboratório para a determinação da massa seca, sendo as plantas separadas em duas frações (folha e colmo) antes do processo de secagem

até peso constante, em estufa com circulação forçada de ar à 65° C, para posteriormente, com auxílio de uma balança de precisão, determinar a massa seca em kg ha^{-1} de cada fração e compor a amostra final.

4.6 *Diâmetro de colmos e altura de inserção da última folha*

O diâmetro de colmos e a altura de inserção da última folha foram analisadas nos períodos dos cortes de uniformização aos 50, 80 e 110 DAS. Para a mensuração das variáveis utilizou-se um paquímetro digital, sendo quantificado aleatoriamente os diâmetros de três plantas da amostra final, as medições foram realizadas na altura de inserção da primeira folha, nos dois sentidos do colmo devido a sua forma oval.

A altura de inserção da última folha foi determinada com a utilização de uma trena métrica, sendo considerada a distância entre a superfície do solo e a inserção da lígula da última folha.

4.7 *Altura total de plantas*

As avaliações iniciaram-se aos 50 DAS e posteriormente em cada corte de uniformização, sendo avaliadas três plantas aleatórias de cada amostra composta. A determinação foi realizada com o auxílio de trena métrica, medindo a distância entre a superfície do solo e o final da última folha visível.

4.8 *Análise estatística*

Os resultados foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA) pelo software R pacote “Expdes.pt” (FERREIRA; CAVALCANTI e NOGUEIRA, 2014) ao nível de 5% de probabilidade de erro, quando observados efeitos significativos os dados das variáveis quantitativas (altura total de plantas, diâmetro e altura de inserção da última folha), foram submetidos à análise de regressão e os dados qualitativos (relação folha/colmo) ao teste de Tukey.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora os volumes das chuvas tenham sido relativamente elevados, a distribuição foi irregular ao longo do estudo, apresentando períodos de excesso e outros de déficit hídrico, sendo necessária a utilização da irrigação suplementar para suprir de maneira adequada a ETo.

No Ano 1, foram aplicados 117,46 mm de água no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, fracionada em seis aplicações. Já no Ano 2, foram aplicados 92,5 mm no mesmo tratamento, por meio de sete irrigações de acordo com a distribuição pluviométrica e a ETo.

A maioria das variáveis foram influenciadas pelos tratamentos de irrigação utilizados. A Tabela 5 e a Tabela 6 apresentam os valores obtidos para a relação folha/colmo, assim como, as respectivas frações das amostras de massa seca em kg ha^{-1} , com os respectivos coeficientes de variação, determinação e regressão, para o Ano 1 (2015/2016) e para o Ano 2 (2016/2017), respectivamente.

Tabela 5. Produção de folhas e colmos, relação folha/colmo sob os tratamentos de irrigação nos três cortes de uniformização (50, 80 e 110 DAS) para o Ano 1 (2015/2016), com os respectivos coeficientes de variação, determinação e regressão.

Ano 1									
	50 DAS			80 DAS			110 DAS		
Trat.	Folha	Colmo	F/C	Folha	Colmo	F/C	Folha	Colmo	F/C
% ETo	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
125	2750,0	3273,4	0,84 *n.s	2522,4	2275,7	1,11 *n.s	1856,5	1401,1	1,33 *n.s
100	2922,2	3419,4	0,85 *n.s	2626,8	2300,5	1,14 *n.s	1915,2	1593,8	1,20 *n.s
75	2845,1	3319,4	0,86 *n.s	2446,8	2167,0	1,13 *n.s	1755,7	1358,4	1,29 *n.s
50	2894,4	3225,5	0,90 *n.s	2070,7	1832,0	1,13 *n.s	1712,4	1322,5	1,29 *n.s
25	2679,4	2988,7	0,90 *n.s	1834,8	1636,7	1,12 *n.s	1433,5	1155,1	1,24 *n.s
0	2499,5	2820,6	0,89 *n.s	1687,2	1465,6	1,15 *n.s	1151,2	981,5	1,17 *n.s
Coeficientes									
a	2489,5	2787,7		1614,9	1417,8		1149,3	962,83	
b	10,466	11,735		13,218	11,667		13,525	9,513	
c	-0,066	-0,0606		-0,0424	-0,035		-0,0623	-0,0446	
R² (%)	92,87	96,28		93,66	96,17		98,4	89,29	
CV(%)	5,37	3,45		4,94	5,31		7,65	9,15	

*n.s = não significativo pela ANOVA ao nível de 5%.

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Produção de folhas e colmos, relação folha/colmo sob os tratamentos de irrigação nos três cortes de uniformização (50, 80 e 110 DAS) para o Ano 2 (2016/2017), com os respectivos coeficientes de variação, determinação e regressão.

Ano 2										
Trat.	50 DAS			80 DAS			110 DAS			
	% ETo	Folha kg ha ⁻¹	Colmo kg ha ⁻¹	F/C	Folha kg ha ⁻¹	Colmo kg ha ⁻¹	F/C	Folha kg ha ⁻¹	Colmo kg ha ⁻¹	F/C
125	2731,4	3236,1	0,84 c	2219,4	2431,0	1,10 *n.s	1708,8	1450,9	*n.s	1,18
100	2862,9	3099,0	0,92 bc	2374,5	2460,1	1,04 *n.s	1779,1	1524,5	*n.s	1,17
75	2862,0	2967,5	0,96 bc	1997,2	2157,4	1,08 *n.s	1686,1	1447,2	*n.s	1,17
50	2902,3	2608,8	1,11 b	1674,1	1856,9	1,11 *n.s	1322,6	1187,1	*n.s	1,11
25	2751,3	2293,0	1,20 ab	1493,0	1625,0	1,09 *n.s	1258,3	1130,5	*n.s	1,11
0	2675,4	1889,5	1,42 a	1171,8	1329,6	1,13 *n.s	1114,3	1063,1	*n.s	1,05
Coeficientes										
a	1915,6	1695,1		1269,8	1103,9		1061,4	1027,3		
b	21,344	19,763		14,269	15,065		8,889	6,032		
c	-0,0899	-0,0872		-0,0353	-0,0424		-0,0254	-0,0178		
R² (%)	97,99	95,66		97,23	94,47		89,59	86,98		
CV (%)	7,00	6,13		6,68	6,42		4,96	6,24		

*n.s = não significativo pela ANOVA ao nível de 5%.

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os dados foram avaliados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade de erro, quando observados efeitos significativos, os dados de produção de folhas e de colmos foram submetidos à análise de regressão, por se tratarem de variáveis quantitativas, ajustando-se equações quadráticas, que apresentaram aceitáveis coeficientes de variação (CV) e de determinação (R²). A variável qualitativa, relação folha/colmo, não apresentou efeitos significativos pela análise de variância entre os distintos tratamentos, para os respectivos períodos dos cortes de uniformidade (50, 80 e 110 DAS), exceto aos 50 DAS no Ano 2, onde observou-se significância estatística e foi aplicado o teste de Tukey para a comparação das médias.

Aos 50 DAS no Ano 1, mesmo sem apresentar significância estatística entre os tratamentos para a relação folha/colmo, é possível observar que a produção de colmos foi maior em relação a produção de folhas em todos os tratamentos, sendo 14,6% maior no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo e 11,4% no tratamento testemunha, foi o único corte que apresentou esse comportamento em todos os tratamentos, entre os dois anos de estudo. Este comportamento pode ter sido resultante do elevado suprimento hídrico decorrente das precipitações pluviais durante quase todo o período do primeiro corte, refletindo no aumento do diâmetro de colmos e na altura total de plantas, e conseqüentemente, acarretando maior produção de colmos em relação as folhas.

No mesmo período (50 DAS) no Ano 2, no qual houve maior estresse hídrico, os tratamentos apresentaram significância estatística pelo teste de Tukey. Nota-se que o tratamento

não irrigado apresentou a melhor relação folha/colmo ao longo de todo o estudo, sendo a produção de folhas 29,4% maior que a produção de colmos, apresentando uma relação de 1,42.

As lâminas de irrigação com 25% e 50% da ETo produziram mais folhas do que colmos, respectivamente, 16,7% e 10,2%, proporcionando um melhor índice F/C do que os tratamentos com lâminas de irrigação maiores (75%, 100% e 125% da ETo), nos quais a produção de colmos foi maior que a de folhas, demonstrando que o capim Sudão sob estresse hídrico tende a melhorar a relação folha/colmo, contudo a produção de massa seca de folhas e colmos será menor. Este comportamento corrobora com os resultados encontrados por Mota et al. (2010), que estudando o efeito de lâminas de irrigação combinado com doses de nitrogênio na cultura do capim-elefante no norte de Minas Gerais, observaram que quando ocorre um incremento na lâmina de irrigação combinado à aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N, há uma diminuição na relação folha/colmo, sendo a maior relação folha/colmo encontrada no tratamento sem irrigação e a menor no tratamento com lâmina de irrigação com 120% da ETo, indicando que elevadas lâminas de irrigação tendem a aumentar o diâmetro e a altura de inserção da última folha gerando maior volume em relação a produção de folhas.

No segundo corte de uniformização aos 80 DAS, todos os tratamentos produziram mais folhas do que colmos, apresentando relação folha/colmo maior que 1, segundo Mezzomo (2017), o perfilhamento do capim Sudão é menor no período da semeadura até o primeiro corte, acarretando em menor número de plantas, porém, com maior altura e diâmetros de colmos, após o corte ocorre estímulo fisiológico ao perfilhamento das plantas, ocasionando menor diâmetro e altura de inserção da última folha e maior produção de folhas, melhorando assim a relação folha/colmo.

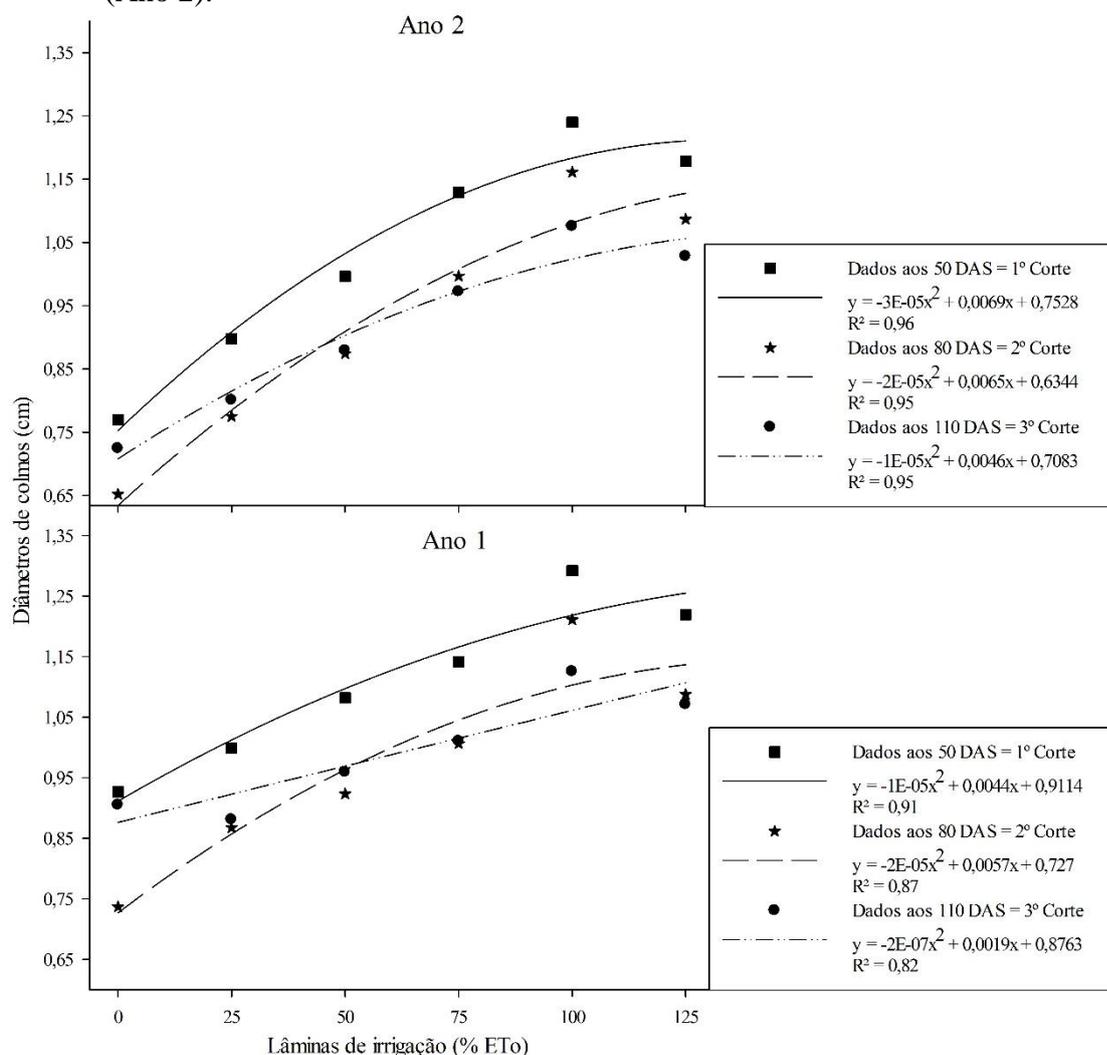
Aos 110 DAS, foram observados em ambos os anos as menores produções de massa seca de colmos e de folhas, que pode ter ocorrido devido a perda natural do potencial produtivo em razão dos cortes e das condições ambientais. Nesta época, em ambos os anos, ocorreu menor radiação solar, temperatura e fotoperíodo. Entretanto, a produção de folhas manteve-se maior que a de colmos em todos os tratamentos, devido a diminuição da altura e dos diâmetros de colmos, mas com uma adequada produção de folhas, mantendo a pastagem em boas condições para o pastejo.

Mezzomo et al. (2020c), estudando a cultura do capim Sudão (BRS Estribo) irrigado, submetido a diferentes regimes hídricos e quatro cortes de uniformização, observaram resultados semelhantes, na época do primeiro corte (50 DAS) todos os tratamentos apresentaram valores menores que 1, ou seja, mais colmo do que folha, porém com maior produção total de massa seca. A partir do segundo corte houve uma inversão nessa proporção, apresentando maior produção de folhas do que colmos, sendo que todos os tratamentos apresentaram valores superiores a 1, entretanto, após cada corte efetuado, foi observada uma diminuição na produção total de massa seca.

No estudo desenvolvido por Lopes et al. (2005), foram avaliados os efeitos da adubação e irrigação na cultura do capim elefante, os resultados indicaram não haver significância estatística para a variável relação folha/colmo entre os tratamentos com e sem irrigação, este resultado é compatível com os observados na maioria das épocas de avaliação do presente estudo.

Os diâmetros de colmos observados nos distintos tratamentos de irrigação, ao longo dos três cortes de uniformização, apresentaram diferença estatística significativa a nível de 5% de probabilidade de erro, sendo submetidos a análise de regressão e ajustadas equações quadráticas, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Diâmetros de colmos nos três cortes de uniformização aos 50, 80 e 110 DAS, sob diferentes lâminas de irrigação nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2).



As maiores médias de diâmetros de colmos, foram registradas no tratamento irrigado com a lâmina equivalente a 100% da ETo, que demonstrou na maior parte dos períodos um incremento progressivo do diâmetro de colmos em relação ao acréscimo do volume de água. Foram ajustadas equações quadráticas para os dados obtidos nos três cortes de uniformização, para ambos os anos agrícolas avaliados (Figura 3).

As menores médias observadas para diâmetro de colmos, foram registradas para o tratamento sem irrigação, exceto aos 110 DAS do Ano 1, período em que a menor média foi registrada para o tratamento com lâmina de irrigação equivalente a 25% da ETo, sendo observada uma variação de 2,7% em relação ao tratamento não irrigado. Demonstrando assim, que em ambos os anos, a diminuição do diâmetro de colmos pode ter ocorrido devido ao déficit hídrico.

Aos 50 DAS, a amplitude da variação entre o tratamento não irrigado e o tratamento com a lâmina de irrigação equivalente a 100% da ETo foi de 28,3% e 37,9%, para o Ano 1 e Ano 2, respectivamente. Tal variação, pode ser resultado de um maior estresse hídrico ocorrido em função do volume e da distribuição das chuvas entre os anos. Resultados semelhantes foram observados por Kirchner et al. (2020) num estudo conduzido em Santa Maria-RS, nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2), no qual, foram avaliadas a altura total de plantas e o diâmetro de colmos do sorgo forrageiro irrigado e submetido a diferentes cortes de

uniformidade. Neste estudo, as amplitudes da variação entre o tratamento testemunha e a lâmina de irrigação equivalente a 100% da ETo, foram iguais a 25% e 30,5%, para, respectivamente, os anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017. Esta diferença na amplitude da variação entre os tratamentos, entre os anos agrícolas avaliados foi também atribuída aos distintos volumes e distribuição das chuvas.

O estresse hídrico ocorrido no período inicial de estabelecimento da cultura no Ano 2 refletiu nos cortes posteriores, uma vez que no período entre o primeiro e segundo corte (80 DAS) foi necessária apenas uma irrigação com lâmina de 2,8 mm para atender a demanda hídrica da cultura, sendo observada uma variação de 43,8% entre o tratamento testemunha e o tratamento com lâmina de irrigação equivalente a 100 % da ETo. Para o mesmo período, no Ano 1, os mesmos tratamentos apresentaram uma variação de 39,2%, sendo necessárias aplicações de três irrigações com lâmina total de 82,6 mm, em função do estresse hídrico ocorrido neste ano.

Aos 110 DAS em ambos os anos, o diâmetro de colmos nos tratamentos testemunhas, 25% e 50% da ETo, apresentaram um comportamento similar, com valores maiores em relação aos mesmos tratamentos no corte anterior, demonstrando a tendência da cultura do capim Sudão em engrossar o colmo e diminuir a altura total de plantas após o segundo corte. As variações entre os tratamentos testemunhas e a lâmina de irrigação com 100% da ETo diminuíram, apresentando no Ano 1 uma diferença de 19,6% e no Ano 2 de 32,7%.

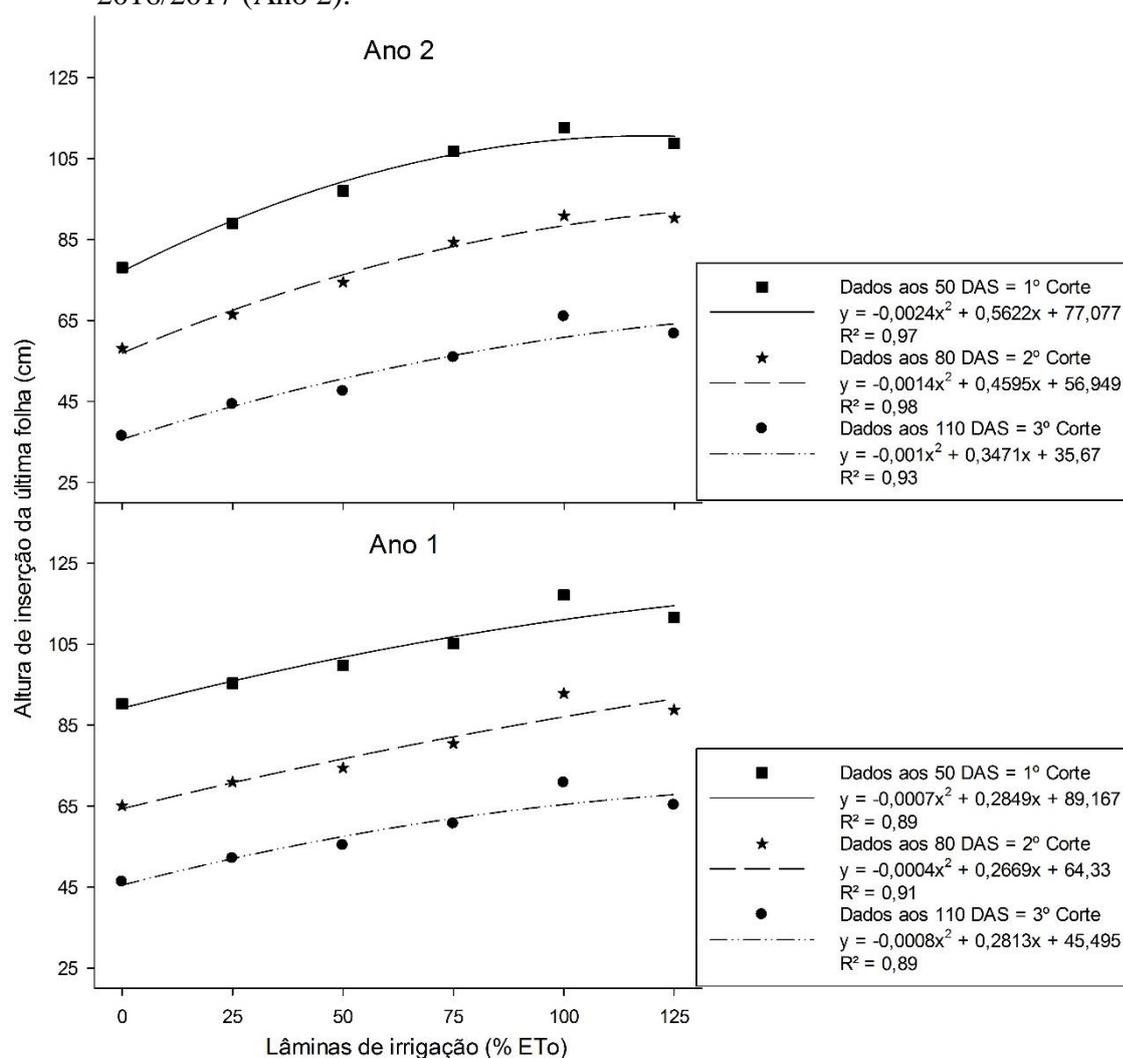
O tratamento com 125% da ETo em ambos os anos nos três cortes de uniformização, apresentou decréscimo no diâmetro de colmos em função do excesso hídrico ocasionado pela irrigação, demonstrando que o correto manejo da água é fundamental para otimizar a produção, entretanto, deve-se estar atento para o adequado diâmetro de colmo em função da altura de plantas, pois esta, provavelmente influenciará a relação folha/colmo.

No trabalho desenvolvido por Moreira (2011) com diferentes cultivares de sorgo sacarino irrigado, foi observado um incremento no diâmetro de colmos à medida que as lâminas de irrigação aumentaram para os níveis de 20, 40, 60 e 80% da capacidade de campo (CC). Neste estudo, a cultivar Ramada apresentou decréscimo no diâmetro de colmos quando irrigada com 80% da CC, demonstrando que lâminas superiores as testadas podem causar a redução do diâmetro de colmos, sendo esses resultados condizentes com os observados no presente estudo.

Os resultados obtidos por Kirchner et al. (2020), estudando o diâmetro de colmos do sorgo forrageiro irrigado, vão ao encontro dos observados neste estudo, pois apresentaram diferenças estatisticamente significativas para as distintas lâminas de irrigação testadas, com funções quadráticas, apresentando diminuição de diâmetro nos tratamentos com reposição acima de 100% da ETo. Também foi observada uma tendência de engrossamento dos colmos no terceiro corte (110 DAS), sendo os diâmetros mensurados superiores aos obtidos no segundo corte, com uma significativa redução na altura total de plantas.

As alturas de inserções das últimas folhas observadas ao longo dos três cortes de uniformização, nos distintos tratamentos, apresentaram significância estatística pela ANOVA ao nível de 5% de probabilidade de erro, sendo aplicada a análise de regressão e ajustada equações quadráticas. À medida que as lâminas de irrigação aumentaram até o nível de 100% da ETo, observa-se um acréscimo na altura de inserção da última folha, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4. Altura de inserção da última folha nos três cortes de uniformização aos 50, 80 e 110 DAS, sob diferentes lâminas de irrigação nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2).



A cultura apresentou comportamento quadrático em relação a quantidade de água aplicada, em todos os cortes realizados nos dois anos de estudo, sendo observadas as maiores médias no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, em ambos os anos.

O primeiro corte aos 50 DAS, apresentou as maiores médias obtidas em todos os tratamentos nos dois anos de avaliações, apresentando uma variação entre os anos no tratamento com 100% da ETo de apenas 3,8%. Esta variação pode estar associada a diferenças na temperatura, fotoperíodo e radiação solar, uma vez que a demanda hídrica da cultura foi integralmente atendida. Já a variação entre os dois anos de estudo no tratamento testemunha foi de 13,5%, em função do maior estresse hídrico ocorrido no Ano 2.

O segundo e terceiro cortes seguiram o mesmo comportamento observado anteriormente, com variações no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo de 2,1% e 6,8% para o segundo e terceiro corte, respectivamente, enquanto o tratamento testemunha apresentou variação de 10,8% e 21,4%, respectivamente, para o segundo e terceiro corte, demonstrando que a instabilidade climática pode causar variações significativas nessa variável.

A amplitude da variação entre o tratamento testemunha e o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo no Ano 1 foi de 22,9%, 29,9% e 34,6%, para o primeiro, segundo e terceiro corte, respectivamente. As variações nas alturas de colmos no Ano 2 entre os mesmos

tratamentos e cortes foram de 30,7%, 36,1% e 44,8% para o primeiro, segundo e terceiro corte, respectivamente. Embora a produção no Ano 2 em relação ao Ano 1 tenha sido menor em todos os tratamentos, as amplitudes da variação foram maiores, devido a maior irregularidade na distribuição das precipitações pluviais.

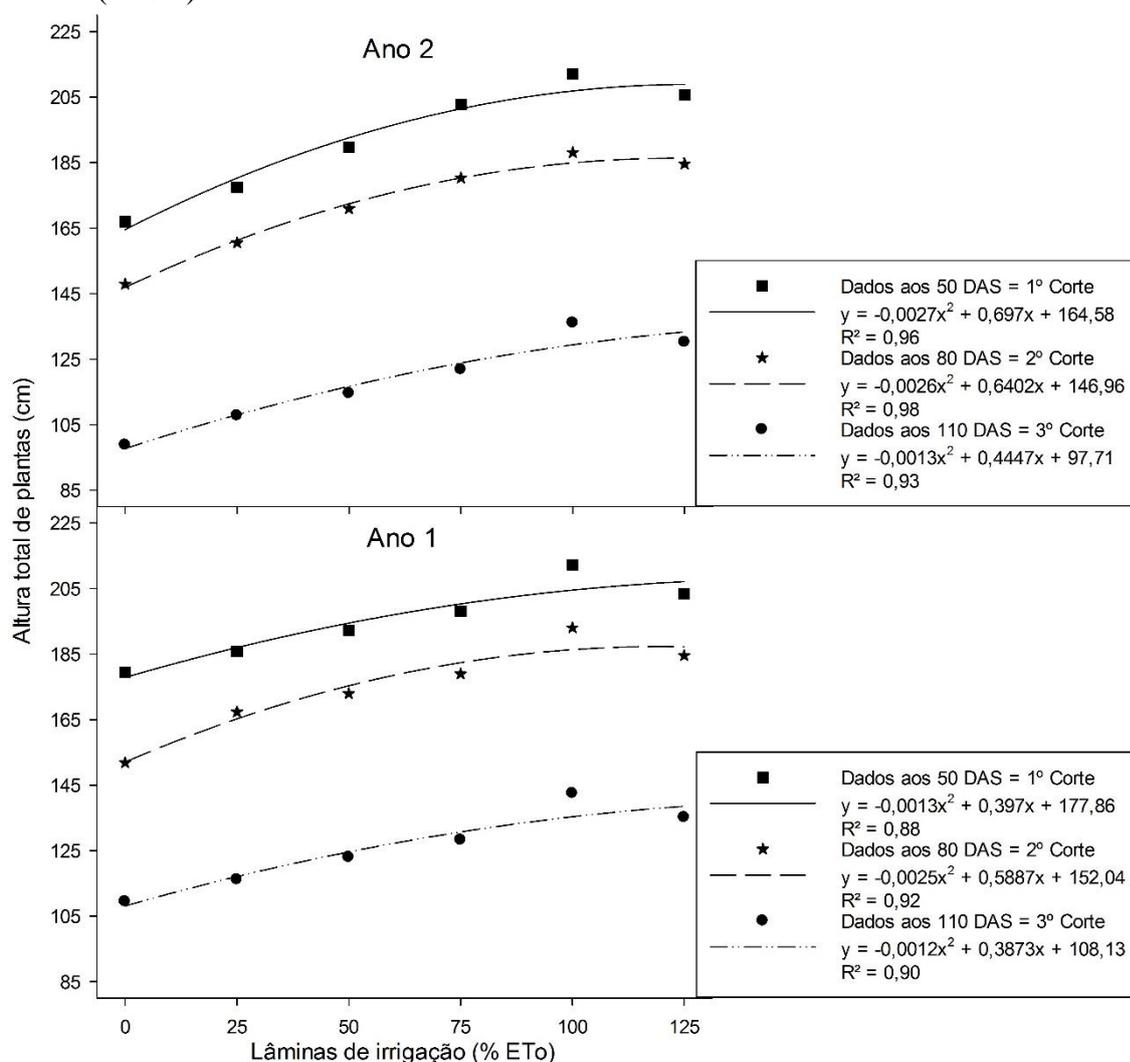
Após cada corte de uniformização foi observada uma diminuição na altura de inserção da última folha em todos os tratamentos, podendo ser atribuído a perda natural do potencial fisiológico das plantas, mas também deve-se levar em consideração o maior período de dias até a época do primeiro corte. Segundo Mezzomo (2017), após cada corte realizado ocorre o aumento do número de colmos por metro quadrado e a diminuição da altura total de plantas, com isso a altura de inserção da última folha tende a diminuir.

É importante ressaltar que o tratamento com a lâmina de irrigação com 125% da ETo apresentou decréscimo na altura de inserção da última folha em todas as épocas de avaliação, este comportamento pode ser atribuído ao excesso hídrico ocasionado pela irrigação, ficando assim evidente a importância do correto manejo da água para o desenvolvimento adequado das plantas, pois os resultados deste estudo indicaram que tanto o déficit quanto o excesso hídrico influenciaram negativamente essa variável.

Os resultados encontrados para a variável altura de inserção da última folha no presente estudo (Figura 4), estão de acordo com os encontrados por Costa et al. (2005), que ao estudarem unidades térmicas e produtividade em genótipos de milho semeados em duas épocas: período das águas e período de seca, encontraram uma relação com a disponibilidade hídrica, tendo em vista que quando semeado na época das águas, a altura de inserção da última folha foi expressivamente maior que no período de seca, demonstrando que o suprimento hídrico apropriado potencializa esta variável.

A variável altura total de plantas apresentou significância estatística ao nível de 5% pelo teste da ANOVA em todas as épocas de avaliação, sendo realizada a análise de regressão, observou-se o mesmo comportamento das demais variáveis analisadas, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5. Altura total de plantas nos três cortes de uniformização aos 50, 80 e 110 DAS, sob diferentes lâminas de irrigação nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2).



As maiores alturas de plantas em todos os tratamentos foram observadas no Ano 1, apresentando incremento na altura à medida que as lâminas de irrigação aumentaram até o tratamento com 100% da ETo, e decréscimo no tratamento com a lâmina de irrigação com 125% da ETo, sendo ajustadas equações de segundo grau em todas as épocas de avaliação, com aceitáveis coeficientes de determinação.

Aos 50 DAS foram observadas as maiores alturas médias de plantas nos dois anos de estudo, com uma variação entre os anos no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo de apenas 0,1%, enquanto a variação no tratamento testemunha foi de 7,2% em razão das diferenças nos regimes hídricos de cada ano.

No Ano 1, aos 50 DAS, a variação entre o tratamento testemunha e o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo foi de 15,4%, sendo esse valor menor que o observado no Ano 2 que apresentou variação de 18,8%, apresentou variação de 18,8%. Esta diferença entre os anos pode estar atrelada a distribuição pluvial em cada época de cultivo, sendo que no Ano 2 houve maior estresse hídrico

Aos 80 DAS houve decréscimo na altura total de plantas em todos os tratamentos, devido à perda natural de potencial produtivo e também ao menor número de dias até o segundo corte, porém como mostrado anteriormente a relação folha/colmo aumentou, melhorando a

qualidade forrageira. A amplitude de variação entre o tratamento testemunha e o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo no Ano 1 foi de 21,4%, no Ano 2 os mesmos tratamentos apresentaram variação de 21,5%, valor bem próximo ao encontrado para o Ano 1, evidenciando que no segundo corte, mesmo com as diferenças na distribuição pluviométrica entre os anos, a amplitude de variação entre os tratamentos não foi alterada.

No terceiro e último corte (110 DAS), ocorreu uma drástica diminuição nos resultados obtidos para a variável altura total de plantas em relação aos cortes anteriores, no tratamento com 100% da ETo no Ano 1 a diminuição foi de 26,2% em relação ao segundo corte, no Ano 2, para o mesmo tratamento, foi observada uma diminuição de 27,7% em relação ao segundo corte. Este comportamento pode estar atrelado a perda natural do potencial produtivo da cultura e as condições ambientais mais desfavoráveis, como menor temperatura, fotoperíodo e radiação solar.

Tomich et al. (2004), estudando o potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim Sudão, observaram alturas de plantas próximas às encontradas no presente estudo, variando de 148 a 170 cm aos 57 DAS, época que foi efetuado o primeiro corte, sendo semelhante às alturas de plantas observadas nesse estudo aos 50 DAS, que variaram de 179,42 cm a 212,25 cm no Ano 1 e de 167,00 cm a 212,07 cm no Ano 2, podendo ser atribuída essa diferença ao maior potencial produtivo da cultivar BRS Estribo.

Gontijo et al. (2008), analisando o potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim Sudão no município de Sete Lagoas – MG, sem o uso da irrigação, observou alturas totais de plantas que apresentam-se parecidas as observadas neste estudo no tratamento não irrigado, no segundo corte aos 76 DAS a média foi de 107,5 cm, ficando próxima dos 147,9 cm encontrada neste experimento aos 80 DAS. No terceiro corte realizado aos 103 DAS, a média apresentada foi de 100 cm, ficando apenas 9,5 cm abaixo da média observada no tratamento sem irrigação no Ano 1 (109,5 cm) e 1,2 cm acima da altura observada no Ano 2 (98,8 cm). Assim como no presente estudo, a redução na variável altura total de plantas após os cortes foi atribuída a perda natural de potencial produtivo e as condições ambientais menos favoráveis.

6. CONCLUSÃO

As variáveis altura de inserção da última folha, altura total de plantas e diâmetro de colmo são influenciadas pelos diferentes suprimentos hídricos, sendo recomendado o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo para potencializar o desenvolvimento dessas variáveis. Deve ser evitado lâminas de irrigação superiores a essa, uma vez que pode ocorrer uma diminuição das variáveis, acarretando em desperdício de água e energia.

A relação folha/colmo não apresentou significância estatística para as lâminas de irrigação testadas, exceto aos 50 DAS do Ano 2, demonstrando que a cultura sob estresse hídrico tende a aumentar o valor dessa variável, porém, com diminuição na produção de massa seca de colmos e de folhas (kg ha^{-1}). Após o primeiro corte a cultura tende a melhorar essa relação, apresentando valores maiores que 1 para todos os tratamentos testados. O manejo da irrigação deve ser feito buscando uma alta relação folha/colmo, aliado a uma satisfatória produção total de massa seca, visando o maior retorno econômico.

7. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

8. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, J. **Evapotranspiracion del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Riego e Drenaje Paper, 56).
- CASTAGNARA, D. D.; MESQUITA, E. E.; NERES, M. A.; OLIVEIRA, P. S. R.; DEMINICIS, B. B.; BAMBERG, R. Valor nutricional e características estruturais de gramíneas tropicais sob adubação nitrogenada. **Arquivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 60, n. 232, p. 931-942, 2011.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2016. 376 p.
- COSTA, A. C. T.; GERALDO, J.; PEREIRA, M. B.; PIMENTEL, C. Unidades térmicas e produtividade em genótipos de milho semeados em duas épocas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 12, p. 1171-1177, 2005.
- EMBRAPA. Estruturação do mercado de sementes de forrageiras, Capim-Sudão BRS Estribo: recomendações de manejo e oportunidades na cadeia produtiva da ovinocultura. **Revista Do Produtor**, Bagé, v. 6, n. 7, p. 1-22, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/988352/1/revistamarco2014.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P. E.; NOGUEIRA, D. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. **Applied Mathematics**, Wuhan, v. 5, n. 19, p. 2952-2958, 2014.
- GONTIJO, M. H. R.; BORGES, A. L. C.; GONÇALVES, L. C. Potencial forrageiro de seis híbridos de sorgo com capim Sudão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, n. 1, p. 33-43, 2008.
- KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; MEZZOMO, W.; ROSSO, R. B. Altura de plantas e diâmetro de colmos de sorgo forrageiro irrigado em função de cortes. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 223-233, 2020.
- LOPES, R. S.; FONSECA, D. M.; OLIVEIRA, R. A.; ANDRADE, A. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MASCARENHAS, A. G. Efeito da irrigação e adubação na disponibilidade e composição bromatológica da massa seca de lâminas foliares de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 20-29, 2005.

MEZZOMO, W. **Influência de diferentes manejos de água sob o crescimento do capim Sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

MEZZOMO, W.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; PEREIRA, A. C.; BRUNING, J.; NETO, M. C.; BOSCAINI, R.; BEM, L. H. B.; KIRCHNER, J. K.; PIMENTA, B. D.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B. Economic Viability of Conventional Sprinkler Irrigation in Sudan Grass Production for Beef Cattle. **Journal of Agricultural Studies**, Las Vegas, v. 8, n. 2, p. 622-642, 2020a.

MEZZOMO, W.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; KIRCHNER, J. H.; TORRES, R. R.; PIMENTA, B. D. Produção forrageira e eficiência de utilização da água do capim Sudão submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 143-159, 2020b.

MEZZOMO, W.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; KIRCHNER, J. H.; TORRES, R. R.; PIMENTA, B. D.; PEREIRA, A. C.; BEN, L. H. B.; LOREGIAN, M. V.; RODRIGUES, P. E. C. Supplementary irrigation in Sudan grass: Leaf area index, dry matter production and water use efficiency. **Revista Científica**, Jaboticabal, v. 48, n. 2, p. 85-98, 2020c.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronomicas**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil LTDA, 1978. 276 p.

MOREIRA, L. R. **Caracterização morfofisiológica de cultivares de sorgo sacarino em estresse hídrico**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MOTA, V. J. G.; REIS, S. T.; SALES, E. C. J.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; OLIVEIRA, F. G.; WALKER, S. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1191-1199, 2010.

RAY, D. K.; GERBER, L. S.; MACDONALD, G. K.; WEST, P. C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, Londres, v. 5989, n. 6, p. 1-9, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms6989>. Acesso em: 30 mar. 2020.

RODRIGUES, R. C.; MOURÃO, G. B.; BRENNECKE, K.; LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R. Produção de matéria seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiariabrizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 394-400, 2008.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; MAGALHAES, M. A.; SILVA, S. P.; CASAGRANDE, D. R.; BALBINO, E. M.; GOMES, V. M. Estrutura e valor nutritivo do pasto diferido de *Brachiariadecumbens* cv. Basilisk durante o período de pastejo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Mossoró, v. 1, n. 1, p. 112-122, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.;

OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVEIRA, M. C. T.; SANT'ANNA, D. M.; MONTARDO, D. P. E.; TRENTIN, G. **Aspectos relativos à implantação e manejo de Capim-Sudão BRS Estribo**. Bagé: Embrapa, 2015. 11 p. (Comunicado Técnico, 89). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135361/1/COT89online.pdf>. Acesso em: 13/mar. 2021.

SOUZA, V.; INOMOTO, M. M. Host suitability of grain sorghum and sudangrass for *Pratylenchus brachyurus*. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 86, p. e0262019, 2019.

TOMICH, T. R.; RODRIGUES, J. A. S.; TOMICH, R. G. P.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I. Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim Sudão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 56, n. 2, p. 258-263, 2004.

VIVAN, G. A.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; PARIZI, A. R. C.; BARBOZA, F. S.; SOARES, F. C. Rendimento e rentabilidade das culturas da soja, milho e feijão cultivados sob condições de sequeiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 5, p. 2943-2950, 2015.

WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E. Caracterização climática regional do Rio Grande do Sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 11, n. 8, p. 87-103, 2012.

5. DISCUSSÃO GERAL

A pecuária de corte é destaque no Brasil, principalmente nos últimos anos, pois encerrou 2018 com um recorde mundial no volume de carne bovina exportada, com um total de 1,64 milhão de toneladas embarcadas, crescimento de 11% ante o registrado em 2017 e com expectativa de crescimento nas exportações para o fechamento do ano de 2019 para 1,83 milhão de toneladas. No ano de 2018 o PIB da pecuária somou R\$ 597,22 bilhões, com isso, elevou para 8,7% sua participação no PIB total brasileiro.

Entretanto, a área utilizada para a produção pecuária apresenta-se estagnada, sendo necessária a intensificação da utilização das áreas a fim de atender a demanda pelo produto. Uma importante estratégia de intensificação é a utilização de pastagens cultivadas irrigadas, pois fornecem maior volume de matéria seca, melhor qualidade e produção estável ao longo do tempo. Como consequência, o momento de abate dos animais é precoce, melhorando a qualidade da carne proporcionando menor percentual de gordura, agregando valor e atendendo a demanda do mercado consumidor por um produto de maior qualidade (EMBRAPA, 2014)

A cultivar de capim sudão BRS Estribo vem ganhando destaque em diversas regiões brasileiras, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, pois além de apresentar menor custo de implantação ainda proporciona inúmeras vantagens quando comparada as demais gramíneas de verão (EMBRAPA, 2014). Contudo, o suprimento hídrico deve ser adequado para que a cultura expresse seu potencial produtivo, sendo esse o principal fator de limitação, uma vez que nessa época ocorrem períodos característicos de escassez e ou irregularidade na distribuição pluviométrica.

Essa condição compromete a produção e o programa de terminação e abate dos animais, sendo uma das indicadas a utilização da irrigação a fim de eliminar esse entrave porém, os dados relativos a produção do capim sudão irrigado ainda são divergentes e os resultados da viabilidade econômica da irrigação quando destinado a pecuária de corte são inexistentes, sendo fundamental a definição desses parâmetros para auxiliar o produtor na tomada de decisão.

Nesse contexto, por meio dos dois anos de estudos realizados, constatou-se que a distribuição pluviométrica é de fundamental importância no desenvolvimento do capim sudão, devendo os volumes totais ao longo do ciclo serem observados e analisados conforme a necessidade hídrica da cultura de acordo com o turno de rega utilizado.

5.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Nos anos agrícolas de 2015/2016 (Ano 1) e 2016/2017 (Ano 2), foram observadas precipitações pluviométricas efetivas de 458,04 mm e de 593,18 mm, respectivamente, sendo essas superiores a normal climatológica da região para o período, indicando que podem ocorrer anos com menores volumes de chuvas, acarretando em reduções ainda mais expressivas na produção forrageira.

Mesmo com precipitações elevadas para o período a distribuição foi irregular durante todo o ciclo da cultura, sucedendo diversos momentos que a evapotranspiração superou a precipitação pluviométrica, sendo necessária em ambos os anos sete irrigações suplementares.

O estresse hídrico ocorrido em função da irregularidade na distribuição pluviométrica, ocasionado por períodos de estiagem, é a principal fonte de queda da produção forrageira. Cunha et al. (2008) salientam que a evapotranspiração nas pastagens frequentemente excede a precipitação pluvial efetiva, demandando por irrigação para garantir a estabilidade e os altos índices produtivos.

É importante ressaltar no Ano 2 o estresse hídrico ocorrido entre o período da semeadura e o primeiro corte, sendo necessárias quatro irrigações consecutivas para atender a demanda hídrica da cultura, enquanto que no Ano 1 a distribuição pluviométrica excedeu a demanda evapotranspirativa durante quase todo o período do primeiro corte, sendo necessária apenas uma irrigação, o que justifica a diferença na produção entre os anos nos tratamentos testemunhas de 2166,3 kg ha⁻¹.

Reis et al. (2017) salientam que o estresse hídrico sofrido principalmente no período inicial de estabelecimento e perfilhamento da cultura, acarreta a drástica diminuição da produção forrageira, uma vez que a principal rota para absorção de nutrientes se dá através do fluxo de massa na solução do solo. Assim, a absorção e translocação dos nutrientes para os pontos de crescimento são limitados, restringindo o desenvolvimento e o perfilhamento da planta (Koetz et al., 2017).

5.2 PRODUÇÃO FORRAGEIRA

Em relação à produção forrageira do capim sudão (kg de MS ha⁻¹), houve efeito estatisticamente significativo em nível de 5% de probabilidade de erro nos dois anos de estudo, foram ajustadas equações quadráticas com coeficientes de determinação de 96,58 e 95,76% respectivamente ao Ano 1 e Ano 2, sendo encontrada a máxima eficiência técnica nos

tratamentos com 103,1 e 120,8% da ETo, com produção de forragem de 14.851,90 e 14.267,70 kg de MS ha⁻¹, sendo essas produções superiores em relação ao tratamento testemunha em 28,62 e 40,85%, respectivamente.

Observou-se um incremento de produção proporcional ao aumento do suprimento hídrico de cada tratamento, até a lâmina de irrigação com 125% da ETo onde foi observado a queda da produção em ambos os anos, atribuído ao excesso hídrico ocasionado pela irrigação durante todo o ciclo da cultura, demonstrando que assim como o déficit o excesso hídrico também é prejudicial, ainda aumenta os custos com a irrigação o impacto ambiental e social.

Produções semelhantes foram encontradas por Torres et al. (2019), que estudando a cultura do milho irrigado observaram resultados na produção total de massa seca no tratamento com 125% da ETo de 15.494,47 e 14.779,50 kg MS ha⁻¹ em dois anos e locais distintos (Santiago – RS e Santa Maria – RS).

Estudando a resposta da irrigação na cultura do sorgo forrageiro Kirchner et al. (2019), também observaram comportamento quadrático quando submetido aos mesmos regimes hídricos, com uma produção de 8.909 kg de MS ha⁻¹ no tratamento não irrigado e de 13.134 kg de MS ha⁻¹ no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo.

Aguiar et al. (2005) trabalhando com a cultura do capim Tanzânia obtiveram resultados de produção de massa seca para o tratamento com irrigação plena de 6.877 kg de MS ha⁻¹, enquanto que o tratamento sem irrigação produziu 4.985 kg de MS ha⁻¹, representando um incremento de produção quando irrigado de 28,6%, sendo o mesmo valor observado no presente estudo no Ano 1.

Nos dois anos de estudo, assim como na literatura citada fica clara a importância do suprimento hídrico na medida certa de acordo com a necessidade da cultura, pois tanto o déficit quanto o excesso hídrico causam reduções na produção final, evidenciando a importância do correto dimensionamento e manejo da irrigação.

De acordo com Ferrari et al. (2015) a queda da produção causada pelo déficit hídrico é explicada por meio de alterações no desenvolvimento das plantas, tais como, redução do potencial hídrico foliar, fechamento estomático, redução da taxa fotossintética, redução da parte aérea, aceleração da senescência e abscisão foliar. Ferraz et al. (2012), afirmam que com o aumento do suprimento hídrico, ocorre maior troca de gases entre a planta e a atmosfera, resultando na expansão do tecido vegetal, principalmente das folhas, sendo ainda mais importante em pastagens, uma vez que os animais tem preferência pelas folhas pois apresentam maior palatabilidade e melhor digestibilidade.

Além dos aspectos produtivos é necessário o conhecimento da eficiência de utilização

da água (EUA), pois por meio dessa é possível determinar qual tratamento proporciona o maior aproveitamento de água pela planta, assim como, determinar a viabilidade econômica da atividade.

5.3 EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA

A eficiência de utilização da água apresentou resultados que comprovam a importância da irrigação no cultivo de pastagens, pois o acréscimo das lâminas de água até o tratamento com 100% da ETo proporcionaram maior conversão de massa seca por altura de lâmina de água aplicada.

Foram observados em ambos os experimentos comportamento quadrático, com aceitáveis coeficientes de determinação e funções de produção próximas, demonstrando que o suprimento hídrico adequado propiciou maior conversão da água em massa seca.

Tal fato é explicado por Taiz & Ziger (2017), que afirmam que culturas nas quais são colhidas as partes aéreas em fase vegetativa, a fertilização e a irrigação causam maior alocação de recursos para o colmo, folhas e estruturas reprodutivas do que para as raízes, e esse desvio no padrão de alocação frequentemente resulta em maiores produtividades.

Os tratamentos testemunhas apresentaram grande amplitude de variação na eficiência de utilização da água com 23,2 kg mm⁻¹ no Ano 1 e de 14,3 kg mm⁻¹ no Ano 2, sendo esta diferença atribuída em função do déficit hídrico ocorrido da semeadura até o primeiro corte no Ano 2, a eficiência de utilização da água foi severamente afetada, apresentando uma variação entre os anos de 8,9 kg de MS mm⁻¹, representando uma diferença 38,6%.

Os pontos de máxima eficiência técnica para utilização da água, foram determinadas para a lâmina de água com 73,6% da ETo no Ano 1, com 25,9 kg de MS mm⁻¹ e para o Ano 2 na lâmina de água com 95,6% da ETo, com 20,9 kg de MS mm⁻¹, representando uma diferença de 19,3% entre os anos estudados.

As EUA observadas no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo no Ano 1 foi de 25,7 kg de MS mm⁻¹, enquanto que no ano seguinte, a produção foi de 20,8 kg de MS mm⁻¹, apresentando uma diferença de 4,9 kg de MS mm⁻¹, correspondendo a uma variação entre os anos de 19,1%.

Esta variação é atribuída as condições climáticas mais favoráveis no Ano 1 e a menor precipitação pluviométrica ocorrida, em relação ao Ano 2, propiciando melhores condições para o desenvolvimento da cultura, pelo fato de não ter ocorrido um excesso hídrico tão elevado quanto no ano posterior, em função das precipitações pluviais elevadas.

Tal fato permitiu a melhor distribuição hídrica através da irrigação ao longo do período de cultivo, favorecendo o aproveitamento de água pelas plantas, melhorando a conversão da água em massa seca.

Trentin et al. (2016), também trabalhando com a cultura do capim Sudão (BRS Estribo), obtiveram resultados próximos aos observados no presente estudo, onde a eficiência de utilização da água foi de $18 \text{ kg de MS mm}^{-1}$ para o tratamento com a lâmina de irrigação com 50% da ET_p , apresentando uma produção de massa seca de $11.032 \text{ kg de MS ha}^{-1}$, com o suprimento de água ao longo do ciclo da cultura de 613,1 mm.

Os resultados observados estão de acordo com os obtidos por Parizi et al. (2009), que trabalhando com a cultura do milho com quatro diferentes lâminas de água 60%, 80%, 100% e 120% da ET_o , encontraram os maiores valores de EUA de $3,41 \text{ kg m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ e $3,46 \text{ kg m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ nos tratamentos com 80% e 100% da ET_o , apresentando comportamento quadrático, ou seja, lâminas superiores a 100% diminuiram a EUA.

Estudando a eficiência de utilização da água na cultura do sorgo forrageiro irrigado, sob mesmos tratamentos, Kirchner et al. (2019) também observaram resultados que reforçam os encontrados no presente estudo, pois a equação ajustada em ambos os anos foram de segundo grau, com a maior EUA observada no segundo ano de estudo no tratamento com 100% da ET_o e a menor no tratamento testemunha, com uma amplitude de variação entre as distintas lâminas de água de 25%, apresentando 15,01 a 19,81 kg de MS mm^{-1} .

Por meio dos resultados observados em ambos os anos de estudo e os encontrados na literatura, pode-se inferir que o regime hídrico (precipitação pluvial + irrigação) durante o ciclo da cultura é fator determinante na EUA, pois de acordo com a variação da produtividade entre as distintas lâminas de irrigação ocorrerá mudanças significativas na EUA.

5.4 RELAÇÃO FOLHA/COLMO

Assim como na relação folha/colmo, a qual está arrolada a algumas características da cultura, influenciando diretamente no consumo de massa seca pelo animal, pois quando o volume de folhas é maior que o volume de colmos a ingestão forrageira tende a aumentar, devido à maior palatabilidade, digestibilidade e teor de proteína, acarretando em ganho de peso precoce.

A relação folha/colmo é uma característica importante na previsão do valor nutritivo do capim sudão (Tomich et al., 2004). Para Benedetti (2002), é um dos principais parâmetros para

a alimentação de ruminantes, mais importante ainda que a disponibilidade de massa seca, uma vez que estão nas folhas os maiores teores de nutrientes.

Aos 50 DAS no Ano 1 observou-se a menor relação folha/colmo ao longo de todo o experimento, podendo ser atribuído ao elevado suprimento hídrico decorrente das precipitações pluviais durante quase todo o período do primeiro corte, refletindo no aumento do diâmetro de colmos e na altura de plantas, acarretando maior produção de colmos em relação as folhas.

No mesmo período (50 DAS) no Ano 2, é possível observar que o tratamento não irrigado apresentou a maior relação folha/colmo de todo o experimento, e as lâminas de irrigação com 25% e 50% da ETo proporcionaram melhor relação folha/colmo do que os tratamentos com as lâminas de irrigação maiores, demonstrando que o capim sudão sob estresse hídrico tende a produzir mais folhas do que colmos.

No segundo corte de uniformização aos 80 DAS, a produção total foi menor em relação ao primeiro corte em ambos os anos, porém todos os tratamentos produziram mais folhas do que colmos, segundo Mezzomo (2017), o perfilhamento do capim sudão é menor no período da semeadura até o primeiro corte acarretando em menor número de plantas, porém com maior altura e diâmetros de colmos, após o corte ocorre estímulo fisiológico ao perfilhamento das plantas, ocasionando menor diâmetro e altura de colmos e maior produção de folhas, aumentando assim a relação folha/colmo, sendo o segundo corte indicado como melhor momento para alimentação animal.

Aos 110 DAS, foram observados em ambos os anos as menores produções totais de massa seca em comparação aos cortes anteriores, sendo atribuído a perda natural do potencial produtivo em razão do ciclo da cultura e das condições ambientais, que nessa época apresentam menor radiação solar, temperatura e fotoperíodo. Entretanto observa-se um aumento da relação folha/colmo em quase todos os tratamentos em relação aos cortes anteriores, isso ocorre em função da diminuição na altura de plantas, porém com adequada produção de folhas, mantendo as condições da pastagem em bom estado para o pastejo.

Corroboram com o presente estudo Mota et al., (2010) que testando lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no norte de Minas Gerais, observou a diminuição da relação folha/colmo conforme o incremento da lâmina de irrigação quando combinado com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N, tendo a maior relação folha/colmo no tratamento sem irrigação e a menor na lâmina de irrigação com 120% da ETo, indicando que lâminas de irrigação elevadas tendem a aumentar o diâmetro e a altura de colmos gerando maior volume em relação a produção de folhas .

Em todas as épocas de avaliação para a variável diâmetros de colmos as maiores médias observadas foram no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, demonstrando na maioria dos períodos um aumento gradativo do diâmetro de colmos em relação ao aumento do volume de água aplicada, sendo ajustadas equações quadráticas no três cortes de uniformização em ambos os anos.

As menores médias foram a maioria no tratamento sem irrigação, exceto aos 110 DAS, no Ano 1, quando a menor média foi no tratamento com 25% da ETo, com uma variação de 2,7% em relação ao tratamento não irrigado. Demonstrando na maioria das épocas nos dois anos de estudo, a diminuição do diâmetro de colmos, atrelado a ocorrência do estresse hídrico.

Aos 50 DAS no Ano 1 a amplitude de variação entre o tratamento não irrigado e o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo foi de 28,3%, e no Ano 2 sob mesmos tratamentos foi de 37,9%, está diferença é atribuída ao maior estresse hídrico ocorrido em função do volume e distribuição das chuvas entre os anos.

O estresse hídrico ocorrido no período inicial de estabelecimento da cultura no Ano 2 refletiu nos cortes posteriores, uma vez que no período entre o primeiro e segundo corte (80 DAS) foi necessária apenas uma irrigação com lâmina de 2,8 mm para atender a demanda hídrica da cultura, apresentando uma variação entre o tratamento testemunha e o tratamento com 100 % da ETo de 43,8%. Enquanto que no Ano 1, sob mesmos tratamentos e período, foram necessárias três irrigações com lâmina total de 82,6 mm, ocasionando uma variação de 39,2% em função do estresse hídrico ocorrido entre os cortes.

Aos 110 DAS em ambos os anos, o diâmetro de colmos nos tratamentos testemunhas, 25% e 50% foram maiores em relação aos mesmos tratamentos no corte anterior, demonstrando uma tendência da cultura do capim sudão em engrossar o colmo e diminuir a altura de plantas no terceiro corte. As variações entre os tratamentos testemunhas e com lâmina de irrigação com 100% da ETo diminuíram, apresentando no Ano 1 uma diferença de 19,6% e no Ano 2 de 32,7%.

O tratamento com 125% da ETo em ambos os anos nos três cortes de uniformização, apresentou decréscimo no diâmetro de colmos em função do excesso hídrico ocasionado pela irrigação, demonstrando que o correto manejo da água é fundamental para otimização da produção, devendo atentar-se para o adequado diâmetro de colmo em função da altura de plantas, aliado a relação folha/colmo. Pois o diâmetro dos colmos altera-se em proporção direta à força requerida para suportar os demais órgãos das plantas (folhas), essa característica constitui-se um indicativo do tamanho de plantas (McMahon, 1973).

Moreira (2011), em trabalho com sorgo sacarino irrigado, avaliando os diâmetros de

colmos, observou incremento no diâmetro a medida que as lâminas de irrigação aumentaram, para os níveis de 20%, 40%, 60% e 80% da capacidade de campo, onde uma das cultivares testadas (Cultivar Ramada) apresentou decréscimo no diâmetro quando irrigada com 80% da CC, demonstrando que lâminas superiores as testadas podem causar a redução do diâmetro de colmos, sendo esses resultados condizentes com os observados no presente estudo.

As alturas de colmos seguiram o mesmo comportamento das demais variáveis, sendo esse quadrático em relação a quantidade de água aplicada, em todos os cortes realizados nos dois anos de estudo, sendo observadas as maiores médias no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, em ambos os anos.

No primeiro corte aos 50 DAS, observa-se as maiores médias obtidas em todos os tratamentos nos dois anos de avaliações, com uma variação entre os anos no tratamento com 100% da ETo de apenas 3,8%, sendo atribuído as diferenças na temperatura, fotoperíodo e radiação solar, uma vez que a demanda hídrica foi atendida integralmente. Enquanto que a variação entre os dois anos de estudo no tratamento testemunha foi de 13,5%, em função do maior estresse hídrico ocorrido no Ano 2.

O segundo e terceiro corte seguiram o mesmo comportamento observado anteriormente, com variações no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo de 2,1% e 6,8% respectivamente, enquanto que o tratamento testemunha apresentou variação de 10,8% e 21,4% respectivamente, demonstrando que a instabilidade climática causa variações significativas nessa variável.

A amplitude de variação entre o tratamento testemunha e o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo no Ano 1 foi de 22,9%, 29,9% e 34,6%, respectivamente para o primeiro, segundo e terceiro corte. As variações nas alturas de colmos no Ano 2 entre os mesmos tratamentos e cortes foram de 30,7%, 36,1% e 44,8% respectivamente, embora a produção no Ano 2 tenha sido menor em todos os tratamentos em relação ao Ano 1, as amplitudes de variação foram maiores, devido a maior irregularidade na distribuição das precipitações pluviais.

Após cada corte de uniformização foi observado a diminuição na altura de inserção da última folha em todos os tratamentos, podendo ser atribuído a perda natural do potencial fisiológico da planta, mas também deve-se levar em consideração o maior período de dias até a época do primeiro corte. Segundo Mezzomo, (2017) após cada corte realizado ocorre o aumento do número de colmos por metro quadrado, com isso a altura de inserção da última folha tende a diminuir.

É importante ressaltar o tratamento com a lâmina de irrigação com 125% da ETo, que apresentou decréscimo na altura de inserção da última folha em todas as épocas de avaliação, sendo atribuído ao excesso hídrico ocasionado pela irrigação, ficando evidente a importância do correto manejo da água para o desenvolvimento adequado da planta, pois tanto o déficit quanto o excesso hídrico influenciaram negativamente essa variável.

Os resultados observados no presente estudo, estão de acordo com os resultados encontrados por Costa et al., (2005) que estudando as unidades térmicas e produtividade em genótipos de milho semeados em duas épocas, no período das águas e na época seca, demonstrou influência direta da disponibilidade hídrica pra está variável, pois quando semeado na época das águas, a altura de colmo foi significativamente maior que na época seca, ressaltando a importância do fornecimento hídrico adequado para a potencialização desta variável.

5.5 ALTURA DE PLANTAS

As maiores alturas totais de plantas em todos os tratamentos foram observadas no Ano 1, apresentando incremento na altura a medida que as lâminas de irrigação aumentaram até o tratamento com 100% da ETo, e decréscimo no tratamento com a lâmina de irrigação com 125% da ETo, sendo ajustada equações de segundo grau em todas as épocas de avaliação, com aceitáveis coeficientes de determinação.

Aos 50 DAS foram observadas as maiores alturas médias de plantas nos dois anos de estudo, com uma variação entre os anos no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo de apenas 0,1%, enquanto que a variação no tratamento testemunha foi de 7,2% em razão das diferenças nos regimes hídricos de cada ano.

No Ano 1, aos 50 DAS, a variação entre o tratamento testemunha e o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo foi de 15,4%, sendo esse valor menor que o observado no Ano 2 que apresentou variação de 21,3%.

Aos 80 DAS houve decréscimo na altura de plantas em todos os tratamentos, devido à perda natural de potencial produtivo, porém como mostrado anteriormente a relação folha/colmo aumentou, tornando a qualidade forrageira melhor. A amplitude de variação entre o tratamento testemunha e o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo no Ano 1 foi de 21,4%, no Ano 2 sob mesmos tratamentos a variação foi extremamente próxima com 21,5%, mostrando que no segundo corte, mesmo com as diferenças na distribuição pluviométrica, a amplitude de variação entre os anos não foi significativamente alterada.

No terceiro e último corte (110 DAS), ocorreu uma drástica diminuição na altura de plantas em relação aos cortes anteriores, no tratamento com 100% da ETo no Ano 1 a diminuição foi de 32,9% em relação ao primeiro corte, no Ano 2 sob mesmo tratamento e comparação a diminuição da altura foi de 35,8%, atrelado a perda natural do potencial produtivo da cultura e as condições ambientais mais desfavoráveis, como o menor fotoperíodo, radiação solar e temperaturas.

Tomich et al. (2004), estudando o potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim sudão, observaram alturas de plantas próximas as encontradas no presente estudo, variando de 148 a 170 cm aos 57 DAS, época que foi efetuado o primeiro corte, sendo semelhante às alturas de plantas observadas nesse estudo aos 50 DAS, atribuindo-se a essa diferença o maior potencial produtivo da cultivar BRS Estribo.

Gontijo et al. (2008), avaliando o potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim sudão no município de Sete Lagoas – MG, sem o uso da irrigação, encontrou alturas de plantas próximas as observadas no presente estudo no tratamento não irrigado, no segundo corte aos 76 DAS a média observada pelo autor foi de 107,5 cm, sendo próxima dos 147,9 cm observada neste trabalho aos 80 DAS. No terceiro corte realizado aos 103 DAS a média apresentada foi de 100 cm, ficando apenas 9,5 cm abaixo da média observada no tratamento sem irrigação no Ano 1 e 1,2 cm acima da altura observada no Ano 2.

5.6 CARGA ANIMAL

Para a determinação do possível número de animais a serem alimentados nos distintos tratamentos, foram calculadas com base nas respectivas produções de massa seca do capim sudão, objetivando obter o rendimento bruto de cada parcela testada. Sendo encontrado a maior carga animal ($\text{kg PV ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, em razão do maior volume de matéria seca produzida, com 6.157,49 e 5.940,39 $\text{kg PV ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ respectivamente para o Ano 1 e Ano 2, e os menores valores no tratamento não irrigado com 4.419,08 e 3.516,47 $\text{kg PV ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. De acordo com o aumento dos valores da conversão alimentar de 0,5, 1,0 e 1,5 $\text{kg animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, os valores de ganho médio de peso no período (kg ha^{-1}) aumentaram proporcionalmente.

Kirchner et al. (2019), obtiveram resultados que estão de acordo com os observados no presente estudo, com funções de produção quadráticas em ambos os anos, encontrando os menores e os maiores valores de carga animal no tratamento não irrigado e irrigado com 100% da ETo, no primeiro ano com valores de 4.608 e 5.692 kg de PV ha^{-1} respectivamente, e no

experimento 2 de 3.712 e 5.662 kg de PV ha⁻¹, sendo esses valores muito próximos dos observados para a cultura do capim sudão nesse estudo.

A viabilidade econômica da irrigação na cultura do capim sudão destinado a pecuária de corte, foi determinada com base nos custos de produção irrigado e não irrigado. Verificou-se que os custos fixos não relacionados à irrigação (CFNRi) apresentaram uma pequena variação entre os anos de estudo, em detrimento da variação dos preços das sementes e dos insumos agrícolas.

5.7 CUSTO DA IRRIGAÇÃO

O custo fixo relacionado à irrigação (CFRI) abrange o valor do sistema de irrigação distribuído ao longo de sua vida útil, considerada de 20 anos, sendo de R\$ ha⁻¹ 446,61. O custo variável relacionado à irrigação (CVRI), corresponde ao número de irrigações realizadas, levando em consideração o tempo de utilização do sistema em função da quantidade de água aplicada, englobando os custos com mão de obra, manutenção e energia elétrica. O CVRI apresentou valores distintos entre os anos de estudo de acordo com necessidade hídrica da cultura, no Ano 1 de R\$ ha⁻¹ 283,10 e no Ano 2 de R\$ ha⁻¹ 262,25, para o tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo, sendo realizada sete irrigações em ambos os anos.

O acréscimo no custo de produção com a introdução da irrigação representou um aumento de 47% e 43% respectivamente no Ano 1 e no Ano 2, para o tratamento com 100% da ETo em relação ao tratamento não irrigado

Em estudo da viabilidade econômica da irrigação por aspersão para a cultura da cana de açúcar, Pereira et al. (2015), obteve o custo variável relacionado a irrigação de R\$ ha⁻¹ 311,44 para o manejo com irrigação plena, sendo esse valor 9% maior do que o observado no presente estudo no Ano 1 e 16% maior que no Ano 2, em função do maior volume de água aplicado.

Estão de acordo com o presente estudo Torres et al. (2019), que trabalhando com a cultura do milho, observou um aumento no custo de produção com a introdução da irrigação de 39,5%, em relação ao tratamento não irrigado para a região de Santa Maria – RS no ano agrícola 2016/2017.

O custo fixo relacionado a irrigação determinado por Castro Junior et al. (2015), foi de R\$ ha⁻¹ 552,76, sendo 19% maior que o valor observado no presente estudo, em razão do tempo de vida útil do sistema, considerado de 15 anos, enquanto que para esse trabalho considerou-se de 20 anos. Porém, o acréscimo no custo de produção, gerado pela introdução da irrigação, foi o mesmo do Ano 1, sendo de 47%, reforçando os resultados observados no presente trabalho.

Diante dos resultados obtidos com esse estudo e dos observados na literatura citada, fica evidente que os custos com a produção irrigada serão sempre maiores que a produção não irrigada. Ficando a viabilidade econômica da irrigação condicionada a necessidade de produzir mais em relação a cultura de sequeiro, até o ponto em que o incremento de produção supere o valor do investimento e justifique a aquisição do sistema de irrigação, possibilitando uma estabilidade de produção ao longo dos anos.

Além do correto manejo da irrigação a fim de obter melhores resultados produtivos, deve-se ter atenção com a conversão alimentar dos animais em pastejo, pois é fator fundamental para a lucratividade pecuária, apresentando grande amplitude de variação na receita líquida em função do ganho de peso diário.

No Ano 1 sob mesmo tratamento (100% da ETo), a diferença na receita líquida foi de R\$ ha⁻¹ 7388,99, representando um aumento na lucratividade de 519% entre os cenários com ganho médio de 0,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹ e 1,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹. Ratificando a importância de utilizar animais com boa conversão alimentar a fim de obter um incremento substancial, principalmente em áreas irrigadas que demandam maior investimento.

Perante um ganho de peso de 0,5 kg animal⁻¹ dia⁻¹, a receita líquida com a lâmina de irrigação com 25% da ETo foi menor que o tratamento testemunha, nos dois anos de estudo, em razão dos custos atrelados ao sistema de irrigação, aliado a baixa conversão alimentar dos animais, aumentando consideravelmente os custos sem o devido incremento na produção. Demonstrando que o correto manejo da irrigação é fundamental para obter produções elevadas, e assim, diluir os custos da tecnologia e aumentar o retorno econômico da atividade.

Com um ganho de peso de 1,0 kg animal⁻¹ dia⁻¹ o uso da irrigação mostrou-se vantajosa, aumentando a receita líquida em quase todos os tratamentos testados, exceto no tratamento com 25% da ETo no Ano 1 que ainda apresentou uma receita líquida menor que o tratamento testemunha. A variação foi de R\$ ha⁻¹ 3.746,8 no tratamento testemunha a R\$ ha⁻¹ 5.118,2 no tratamento com a lâmina de irrigação com 100% da ETo.

No Ano 2 sob mesmos tratamentos a amplitude de variação dos lucros foi maior, apresentando uma receita líquida no tratamento não irrigado de R\$ ha⁻¹ 2.582,1, e no tratamento com irrigação plena R\$ ha⁻¹ 4.820,2. Todas as lâminas de irrigação testadas apresentaram maior receita líquida que o tratamento testemunha.

O incremento na RL gerado pela utilização da irrigação plena (100% da ETo) no Ano 1 foi de 36% em relação ao tratamento testemunha, considerando o cenário de ganho de peso de 1 kg animal⁻¹ dia⁻¹. Enquanto que no Ano 2, sob o mesmo tratamento e ganho de peso, o

incremento foi de 86%, sendo atribuída essa diferença entre os anos ao regime pluviométrico ocorrido durante o ciclo da cultura.

Diante dos resultados obtidos evidencia-se a importância da utilização de animais com melhor conversão alimentar diária, sendo esse o aspecto de maior influência no sucesso econômico da criação de bovinos de corte, gerando maior receita líquida tanto em áreas de sequeiro quanto irrigadas.

Também é possível afirmar que a distribuição pluviométrica influencia de maneira direta a lucratividade, uma vez que, no Ano 2 houve período de maior irregularidade das precipitações e assim, o incremento da irrigação foi maior em relação ao Ano 1, ou seja, o retorno econômico tende a ser maior em anos que é necessária a utilização da irrigação com maior frequência em função da demanda hídrica da cultura.

Os resultados analisados estão de acordo com os obtidos por Torres et al. (2019), que avaliando o retorno econômico da irrigação para a cultura do milho, na região de Santiago e Santa Maria – RS, em ano anterior e no mesmo período do Ano 1, respectivamente, e considerando uma expectativa de ganho de peso de $1 \text{ kg animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, observou um incremento na receita líquida de 26% e 44% no tratamento com irrigação plena, em relação ao tratamento não irrigado na região de Santa Maria e de Santiago – RS respectivamente, sendo valores coerentes com os observados.

A relação benefício/custo, demonstrou resultados positivos para todos os cenários, sendo os valores maiores que 1, tornando o investimento na irrigação viável economicamente. A amplitude dos resultados entre os anos, é consequência das diferentes necessidades de irrigações e da instabilidade de produção no tratamento testemunha, alterando a relação B/C. Este indicador demonstrou que sistemas produtivos irrigados com lâminas de alto percentual de reposição são eficientes economicamente, possibilitando ganhos estáveis ao longo do tempo.

6. CONCLUSÕES GERAIS

Considerando as condições do estudo, pode-se concluir que:

- A produção forrageira do capim sudão é condicionada tanto pelo déficit quanto pelo excesso hídrico, apresentando funções de produção com comportamento quadrático. A lâmina de água com 100% da ETo apresenta produção estável ao longo dos anos, sendo os pontos de máxima eficiência técnica determinado nas lâminas com 103,1% da ETo no Ano 1 e 120,8% da ETo no Ano 2.

As lâminas de irrigação influenciam diretamente a produtividade da água, quando o suprimento hídrico é ótimo a eficiência de utilização da água é máximo, produzindo maior quantidade de massa seca por milímetro de água aplicada.

A cultura do capim sudão possui alta eficiência no aproveitamento de água, sendo uma excelente alternativa para a diversificação da produção forrageira e para sustentabilidade da atividade pecuária onde o recurso hídrico é escasso.

Embora as precipitações pluviométricas tenham sido elevadas em ambos os anos, ocorreram diferenças significativas de produção de massa seca e das variáveis relação folha/colmo, diâmetro de colmos, altura de inserção da última folha e altura de plantas entre os distintos tratamentos, sendo influenciadas tanto pelo déficit quanto pelo excesso hídrico, demonstrando que anos com precipitações menores podem apresentar resultados ainda mais significativos, quando inserida a irrigação.

A irrigação por aspersão convencional na cultura do capim sudão destinado a pecuária de corte é viável economicamente. Sendo uma importante alternativa para aumentar a receita líquida da atividade, embora a viabilidade seja dependente da distribuição e volume das precipitações pluviais.

A viabilidade econômica da irrigação para a pecuária de corte, está relacionada diretamente com a eficiência na conversão alimentar dos animais em pastejo, esse fator representa a maior influência na variação dos lucros, seguido pela distribuição das precipitações pluviométricas durante o período de cultivo.

A demanda hídrica da cultura do capim sudão deve ser atendida integralmente, mesmo com o aumento dos custos relacionados a irrigação, pois o lucro supera os custos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, P. P. P.; **Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Circular Técnica 136, Sete Lagoas, Setembro de 2010.
- ALENCAR, C. A. B.; CUNHA, F. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; ROCHA, W. S. D.; ARAÚJO, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.98-108, 2009.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, J. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).
- ALMEIDA, E.L.D. **Irrigação de plantas forrageiras tropicais e sorgo granífero na região do Arenito Caiuá – Paraná**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Agronomia – UEM). 65p. 2011.
- ANA & EMBRAPA. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil – 2014: Relatório Síntese**. Brasília: ANA, 33 p. 2016.
- ARAÚJO, A.A. Forragens de verão e outono. In: **Forrageiras para ceifa, capineiras, pastagens, fenação e ensilagem**. 2.ed. Porto Alegre: Sulina. 1972. Cap.6, p.79-136.
- ARBAGE, A. P. **Fundamento de Economia Rural**. Chapecó: Agros, 2012. 307 p.
- BALL, D.M. et al. **Southern forages**. Lawrenceville: International Plant Nutrition Institute, 2007. 322p.
- BANDINELLI, D. G. et al. Variáveis morfogênicas de *Andropogon lateralis* Nees submetido a níveis de nitrogênio nas quatro estações do ano. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p.71-76, 2003.
- BENEDETTI, E. **Produção de leite a pasto**. Salvador: Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária, 2002. 176p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611p.
- BIBI, A.; SADAQAT, A.; AKRAM, H.M; KHAN, T. M.; USMAN, B. F. Physiological and agronomic responses of sudangrass to water stress. **Journal of Agricultural Research**, v.48, p.369-379, 2010.
- BLANCO, F.F.; CARDOSO, M.J.; FREIRE FILHO, F.R.; VELOSO, M.E. da C.; NOGUEIRA, C.C.P.; DIAS, N. da DIAS, N. da S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.524-530, 2011.
- BOGDAN, A.V. **Tropical pasture and fodder plants: grasses and legumes**. London: Logman, 1977. 475p

BOOKER J.F, MICHELSEN A.M, HOWITT R.E; YOUNG, R.A. **Economics and the Modeling of Water Resources and Policies**. Natural Resource Modeling Journal, 25 I, 2012.

BURGER, A.W. and CAMPBELL, W.F. Effect of rates and methods of seeding on the original stand, tillering, stem diameter, leaf-stem ratio, and yield of sudangress. **Agronomy Journal**, v.5, n.53, p.289-291, 1961.

CAMPOS, V. N. de O.; FRACALANZA, A. P. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v.13, n. 2, p. 365-382, 2010.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB**. Brasília: CONAB, 2010. 60 p.

CUNHA, F. F. et al. Características morfogênicas e perfilhamento do Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 628-635, 2007.

CUNHA, F. F. D. et al. Produtividade de capim-tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. **Acta Scientiarum. Agronomy** (Impresso), v. 30, p. 103-108, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: FAO, 1994 (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).

DOW AGROSCIENCES. Guia de alimentação animal. Departamento de Marketing de Dow **AgroSciences**, 51p. 2002.

EMBRAPA. 2014. **Revista Do Produtor**. Bagé. 6: 18-19.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. p. 230.

EMBRAPA - **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

ENGLISH, M.J. Deficit irrigation. I: Analytical Framework. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering of ASCE**, New York, v.116, n.3, p.399-412, 1990.

ENGLISH, M. J. e RAJA, S. N. Perspectives on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 32, p. 1-14. 1996.

ENGLISH, M.J.; SOLOMON, K.H.; HOFFMAN, G.J. A paradigm shift in irrigation management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.128, n.5, p.267-277, 2002.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária, **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.2, n.1, p.187-190, jan./abr. 2009.

FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; MORAIS, R. V.; MISTURA, C.; VITOR, C. M. T.; GOMIDE, J. A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, M. E. R.; LAMBERTUCCI, D. M.

Avaliação das características estruturais do capim-braquiária em pastagens adubadas com nitrogênio nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 1, p. 30-37, 2006.

FERNANDES, A. R. M.; SAMPAIO, A. A. M.; HENRIQUE, W.; OLIVEIRA, E. A.; TULLIO, R. R.; PERECIN, D. Características da carcaça e da carne de bovinos sob diferentes dietas, em confinamento. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.60, n.1, p.139-147, 2008.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2 ed. Uberaba: O Lutador, Minas Gerais, 2008. 476 p.

FIGUEIREDO, M.G.; FRIZZONE, J.A.; PITELLI, M.M.; REZENDE, R. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.30, p.81-87, 2008.

FOLHES, M.T.; RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1398-1408, 2009.

FONTANELI R. S. Diminua o vazio farrageiro outonal. Semeie capim italiano ou milheto, aveia de verão ou capim sudão, teosinto ou dente de burro, sorgos forrageiros e milho em alta densidade – Geadá é o Limite!. **SeedQuest**, Brasil, 8 fev. 2009.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por superfície**. São Paulo: ESALQ/USP, 1993. 183p.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de (Eds). **Planejamento da irrigação**: Análise de decisão de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626p.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista brasileira de agricultura irrigada**. Fortaleza. v. 1, n. 1, p. 24 - 49, 2007

GOMES, A. C. S. et al. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 43-49, 2014.

GOMES, E. P. et al. Análise econômica e viabilidade energética da cultura do feijoeiro comum sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [online], v. 17, n. 8, p. 835-842, 2013.

GOMES, E.P.; RICKLI, M.E.; CECATO, U.; VIEIRA, C.V. Produtividade de capim Tifton 85 sob irrigação e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.317-323, 2015.

GONTIJO, M. H. R.; BORGES, A. L. C.; GONÇALVES, L. C. Potencial forrageiro de seis híbridos de sorgo com capim sudão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.7, n.1, p. 33-43, 2008.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partícula do solo - exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, v. 36, p. 664-668, 2006.

HAROU, J.J., PULIDO-VELAZQUEZ, M., ROSENBERG, D.E; MEDELLINAZUARA. J;

LUND, J.R.; HOWITT, R.E. **Hydro-economic models: Concepts, design, applications and future prospects**. *Journal of Hydrology*. 375:627-643. 2009.

HOFFMANN, A.; MORAES, E. H. B. K.; MOUSQUER, C. J.; SIMIONI, A.; GOMES, F. J.; FERREIRA, V. B.; SILVA, H. M. Produção de bovinos de corte no sistema de pasto-suplemento no período seco. **Nativa**, Sinop, v.2, n.2, p.119-130, 2014.

JUFFO, G. D.; PAVARINI, S. P.; WOUTERS, F.; OLIVEIRA, L. G. S.; ANTONIASSI, A. B.; CRUZ, C. E. F.; DRIEMEIER, D. Intoxicação espontânea por *Sorghum sudanense* em bovinos leiteiros no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 32, p. 217-220, 2012.

KANG, S.; SHI, W.; ZHANG, J. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research**, v.67, p.207–214, 2000.

KELLERMAN, T. S.; COETZER, J. A. W.; NAUDÉ, T. W.; BOTHA, C. J. **Plant poisonings and mycotoxicoses of livestock in Southern Africa**. Oxford University Press Southern Africa. 2ª Ed., p.310, 2005.

KELMAN, J.; RAMOS, M. Custo, valor e preço da água utilizada na agricultura. **Revista REGA**. v.2, n.2, p.39-48, jul./dez. 2005.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; MEZZOMO, W.; TORRES, R. R.; GIRARDI, L. B.; PIMENTA, B. D.; ROSSO, R. B.; PEREIRA, A. C.; LOREGIAN, M. V. Variation of leaf area index of the forage sorghum under different irrigation depths in dynamic of cuts. **African Journal of Agricultural Research**. v. 12(2), p. 111-124, 2017.

KLOCKE, N. L., CURRIE, R. S., & AIKEN, R. M. (2010). **Soil water evaporation and crop residues**. *Transactions of the ASABE*, 52, 103 e 110.

KOETZ, M.; BÄR, C. S. L. E L.; PACHECO, A. B.; CASTRO, W. J. R. de; CRISOSTOMO, W. L.; SILVA, E. M. B. da. Produção e eficiência no uso da água do capim paiaguás sob tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 11, n. 1, p. 1223-1232, 2017.

LIMA, M.D.B.; CARRIJO, M.S.; COSTA, K.A. DE P.; DAN, H. DE A.; SIMON, G.A. Eficiência do uso da água na produção de alfafa sob diferentes manejos de irrigação. **Irriga**, v.17, n.4, p.448-445, 2012.

LOPES, A.S.; OLIVEIRA, G.Q.; SOUTO FILHO, S.N.; GOES, R.J.; CAMACHO, M.A. Manejo de irrigação e nitrogênio em feijoeiro comum cultivado em sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p.51-56, 2011.

LOPES, R. S.; FONSECA, D. M.; OLIVEIRA, R. A.; ANDRADE, A. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MASCARENHAS, A. G. Efeito da irrigação e adubação na disponibilidade e composição bromatológica da massa seca de lâminas foliares de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.20-29, 2005.

LORITE I J.; MATEOS L.; ORGAZ F.; FERERES E. Assessing deficit irrigation strategies at the level of an irrigation district. **Agricultural Water Management**, v. 91, p. 51-60, 2007.

LUNA, N. R. S.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; AQUINO, D. N. Dinâmica do nitrato e cloreto no solo e a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE. **Revista Agro@mbiente Online**, v.7, n.1, p.53-62, 2013.

MA, Y., FENG, S., SONG, X. **A root zone model for estimating soil water balance and crop yield responses to deficit irrigation in the North China Plain.** *Agricultural Water Management*, Volume 127, September 2013, Pages 13 – 24.

MACHADO, R. C. R.; SOUZA, H. M. F.; MORENO, M. A.; ALVIM, P. T. Variáveis relacionadas com a tolerância de gramíneas forrageiras ao déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 6, p. 603-608, 1983.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos.** 3. ed. atual. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355p.

MARCELINO, K.R.A.; VILELA, L.; LEITE, G.G. et al. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de tifton 85 cultivado no cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.268-275, 2003.

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; GARCIA, G. O.; RIGO, M. M.; ARAÚJO, G. L. Análise de sistemas de irrigação por aspersão convencional no Sul do Estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, n.3, p.235-244, 2011a.

McMAHOM, C. Size and shape in biology. **Science**, Washington, n. 1, v.179, p.1201- 1204, 1973.

MENDES, A. A. T. Irrigação: tecnologia e produtividade. **In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FRUTICULTURA IRRIGADA**, Jales, SP, 1998.

MENEGATTI, A. L.; BARROS, A. L. M. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 01, p. 163-183, jan./mar., 2007.

MEZZOMO, W. **Influência de diferentes manejos de água sob o crescimento do capim sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf).** Dissertação de Mestrado – Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2017.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronomicas.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, LTDA, 1978. 276p.

MOREIRA, L. R. **Caracterização morfofisiológica de cultivares de sorgo sacarino em estresse hídrico.** 90 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

MOTA, V. J. G.; REIS, S. T.; SALES, E. C. J; ROCHA JÚNIOR, V. R.; OLIVEIRA, F. G.; WALKER, S. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **R. Bras. Zootec.** [online]. v.39, n.6, p.1191-1199. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000600005>.

MUEHLMANN, L. D.; ROCHA, M. G.; RESTLE, J. Utilização de pastagem de estação quente com bovinos desmamados precocemente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 3, p. 584-589, 1997.

NABINGER, C. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 213-251.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do Norte do estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 28, n. 2, p. 531-551, 2011.

PENNA, A. G.; BORGES, A. L. C. C.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; GOMES, S. P.; PENNA, C. F. A. M.; BORGES, I.; RODRIGUES, N. M.; SILVA, R. R. Produção de seis híbridos de sorgo com capim sudão avaliados em três cortes e em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, p.93-105, 2010.

PEREIRA, L.S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, v.57, p.175-206, 2002.

PEREIRA, L. S., CORDERY, I., IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v. 108, p.39-51, 2012.

PINTO, P.R.; MARTINS, J.H.; OLIVEIRA, R.A. de; RAMOS, M.M.; MONTEIRO, P.M.B. Automatic system for management of irrigation with Irrigâmetro using microcontrollers. **International Conference of Agricultural Engineering**. Valencia, Spain, 2012.

PINTO, C. E.; CARVALHO, P. C. F.; FRIZZO, A.; FONTOURA, J. A. S. J.; NABINGER, C.; ROCHA, R. Comportamento ingestivo de novilhos em pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.2, p.319-327, 2007.

RADIN B., et al. Evapotranspiração da cultura do milho em função da demanda evaporativa atmosférica e do crescimento das plantas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**. v. 9, n. 1-2, p. 7-16, 2003.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RADOSTITS, O. M.; GAY, C.; KW HINCHCLIFF, K. W.; CONSTABLE, P. D. A textbook of the diseases of cattle, sheep, goats, pigs and horses. **Veterinary Medicine 10th edition Bailliere**, Tindall, 2007.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri: Manole, 2012. 477 p.

RESTLE, J. et al. Produção animal em pastagem com gramíneas de estação quente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 3, p.1491-1500, 2002. Suplemento.

RIET-CORREA, F.; MÉNDEZ, M.C. Plantas hepatotóxicas. **Doenças de ruminantes e equídeos**. Santa Maria: Palloti. Cap.2, p.22-99, 2007.

RODRIGUES, P. H. M. et al. Efeitos da adição de inoculantes microbianos sobre a composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de sorgo produzida em silos experimentais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, V. 31, n. 6, p. 2373-2379, 2002.

RODRIGUES, G. C., PAREDES, P., GONÇALVES, J. M., ALVES, I., PEREIRA, L. S. Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modeling: ranking for water saving vs farm economic returns. **Agric. Water Manage.** 126, 85-96, 2013a.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; GERVÁSIO, G. G.; BRAGA, J. C.; LEPRI, E. B. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciências e Agrotecnologia**, v.33, p.532- 538, 2009.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C. da. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 731-754.

SCALOPPI, E. J. **Irrigação de baixo custo em sistemas de pastejo rotacionado**. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014.

SCHWAB, N. T.; PEITER, M. X.; BELLÉ, R. A.; BACKES, F. A. A. L.; ROBAINA, A. D.; FERRAZ, R. C. Consumo hídrico de cravina submetida a diferentes estratégias de irrigação e tamanhos de vaso. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 328-336, 2013.

SHARMA, B.; MOLDEN, D.; COOK, S. **Water use efficiency in agriculture: Measurement, current situation and trends. Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification**, Chapter 3, p. 39-64, 2015.

SILMILI, F.F. et al. Respostas de híbrido de sorgo-sudão às adubações nitrogenada e potássica: características estruturais e produtivas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p. 87-94, 2010.

SINGH, A.; PANDA, S. N. Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 115, p. 267-275. Dec. 2012.

SOUSA, M. B. A.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, J. G. F.; VICENTE, M. R.; VIEIRA, G. H. S.; SOARES, A. A. Manejo da irrigação na cafeicultura irrigada por pivô central nas regiões norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. **Bioscience Journal**, v.27, n.4, p.581-590, 2011.

SOARES, J. C. R. et al. **Avaliação econômica da terminação de bovinos de corte em pastagem irrigada**. Brazilian Journal of veterinary and Animal Sciences. 2015.

SUTCLIFFE, J. F. **As plantas e a água**. São Paulo: EPU, 1980. 126 p.

TOMICH, T. R.; RODRIGUES, J. A. S.; TOMICH, R. G. P.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I. Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim sudão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.56, p.258-263, 2004.

TOMICH, T.R.; TOMICH, R.G.P.; GONÇALVES, L.C.; BORGES, I.; RODRIGUES, J.A.S. Valor nutricional de híbridos de sorgo com capim-sudão em comparação ao de outros volumosos utilizados no período de baixa disponibilidade das pastagens. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, p. 1249-1252, dez. 2006.

VAUX, Jr. H. J.; PRUITT, W. O. Crop-water production functions. In: HILLEL, D., ed. **Advances in Irrigation**. New York: Academic Press, v. 2, 1983. p. 61-97.

VITOR, C.M.T.; FONSECA, D.M.; COSER, A.C. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.3, p.435-442, 2009.

VIVAN, G. A. **Simulação dinâmica da soja, milho e feijão, cultivados sob diferentes regimes hídricos**. Tese Doutorado – Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2014.

XAVIER, A. C.; LOURENÇO, L. F.; COELHO, R. D. Modelo matemático para manejo da irrigação por tensiometria em pastagem *Panicum maximum* Jacq. rotacionada sob pivô central. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38. Piracicaba, 2001. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 249-250.

ZAMFIR, M. C.; SCHITEA, M.; ZAMFIR, I. The variability study of some quantitative traits in sudan grass [*Sorghum sudanense* Piper. (Staph.)]. **Romanian Agricultural Research**. v.1, p.23-30, 2001.

ZAGO, C. P. Utilização do sorgo na alimentação de ruminantes. In: **MANEJO cultural do sorgo para forragem**. Sete Lagoas: Embrapa - CNPMS. 1997. p. 9-26. (Circular Técnica, 17).