

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

Rogério Ricalde Torres

**RESPOSTA DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE
MILHETO**

Santa Maria, RS

2018

Rogério Ricalde Torres

RESPOSTA DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE MILHETO

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.**

Orientador: Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina

Santa Maria, RS
2018

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da
Biblioteca Central da UFSM

Torres, Rogério
RESPOSTA DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE
MILHETO / Rogério Torres.- 2018.
104 p.; 30 cm

Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Coorientadora: Marcia Xavier Peiter
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2018

1. Irrigação em Pastagens 2. Pennisetum americanum L.
3. Análise Econômica I. Dias Robaina, Adroaldo II. Xavier
Peiter, Marcia III. Título.

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Rogério Ricalde Torres. A reprodução de partes
ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Rogério Ricalde Torres

RESPOSTA DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE MILHETO

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.**

Aprovado em 16 de fevereiro de 2018:

Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Marcia Xavier Peiter, Dr.^a (UFSM)
(Coorientadora)

Gisele Aparecida Vivan, Dr.^a (IFSul – Campus Bagé)

Leonita Beatriz Girardi, Dr.^a (URI – Santo Ângelo)

Taise Cristine Buske, Dr.^a (IFC – Campus Santa Rosa do Sul)

Tonismar dos Santos Pereira, Dr. (UFPEL)

Santa Maria, RS
2018

Dedico este trabalho a meus pais José Rogério e Lucia...

AGRADECIMENTOS

A Deus que ilumina e conforta em todos os momentos difíceis.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), mais especificamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade oferecida.

Ao orientador professor Dr. Adroaldo Dias Robaina pela oportunidade, dedicação, amizade, confiança depositada, pelos ensinamentos e lições vivenciados durante este período.

À co-orientadora professora Dr^a. Marcia Xavier Peiter pela constante orientação, amizade e ensinamentos auxiliando na realização deste e de outros trabalhos.

Aos membros da Comissão Examinadora.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS pelo fomento recebido.

Aos funcionários da UFSM, em especial aos amigos Sr. Luiz Carlos Nunes e Sr. Luís Francisco Alves Finamor (in memoriam). pela dedicação, amizade e companheirismo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelas bolsas de estudos.

Aos professores do PPGEA pelos ensinamentos.

Aos meus pais, José Rogério Silveira Torres e Lucia Ricalde Torres, e minhas irmãs Daniela Ricalde Torres, e Maurilia Ricalde Torres, pelo amor, carinho, incentivo e compreensão durante a vida, e mais ainda durante esta etapa de estudos.

À Melise Silveira Nunes pelo amor, carinho, incentivo, motivação e compreensão para que mais esta meta fosse alcançada e a seus pais Pedro Gavino dos Santos Nunes, e Marlise Silveira Nunes pelo amor, companheirismo e confiança depositada.

À toda minha família, representada aqui pelas minhas avós Maria Medeiros Ricalde e Regina Silveira Torres pelo amor, carinho e apoio durante a vida.

À minha tia Rosalilia Torres Delabary pelo incentivo e auxílio na redação do trabalho.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Hidráulica em especial, aos amigos que motivaram esta caminhada Ricardo Benetti Rosso, Anderson Crestani Pereira, Luis Humberto Bahú Ben, Jardel Henrique Kirchner, Wellington Mezzomo e Bruna Dalcin Pimenta.

Aos colegas e amigos do IFRS – Campus Vacaria pelo companheirismo, motivação e compreensão durante o período de redação deste trabalho.

A todos os amigos pelo carinho, amizade, força e presença.

Muito Obrigado!

“Toda conquista começa com a decisão de tentar”

(Gail Devers)

RESUMO

RESPOSTA DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE MILHETO

AUTOR: Rogério Ricalde Torres
ORIENTADOR: Adroaldo Dias Robaina

A irrigação é uma técnica que visa garantir altos rendimentos e reduzir períodos de escassez forrageira. Com a inclusão da irrigação há um aumento no custo de produção, devendo este ser inferior aos rendimentos acrescentados para garantir sustentabilidade na sua utilização. Este estudo teve como objetivos avaliar os desempenhos técnico e econômico da produção de forragem de milheto irrigada. O estudo foi desenvolvido nas safras agrícolas de 2014/2015, em Santiago, RS e 2015/2016, em Santa Maria, RS. O delineamento experimental foi organizado em blocos ao acaso com quatro repetições e seis lâminas de irrigação suplementar: 0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da Evapotranspiração de referência (ET_o). A ET_o foi determinada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). A cultura do milheto (cultivar ADR500) foi semeada nos meses de novembro de 2014 e de 2015, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,36 m entre linhas. Foi avaliada a produção de massa seca de forragem, sendo as coletas aos 50, 80, 110 e 140 dias após a semeadura (DAS) em altura de 0,15 m em relação a superfície do solo. Com a conversão dos rendimentos forrageiros do milheto em peso vivo animal e a quantificação dos custos de produção de forragem, foram comparadas as relações benefício-custo da produção não irrigada e irrigada de cinco safras agrícolas (2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017) para as duas regiões. Observou-se efeito significativo para a produção de forragem de milheto nas duas safras agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, ajustando-se à equação quadrática. As máximas eficiências técnicas entre os tratamentos foram encontradas para as duas safras nas lâmina 125 % da ET_o, com produções de forragem de 15.494,47 e 14.779,50 kg de MS ha⁻¹, respectivamente. A produtividade da água não apresentou diferença estatística para os distintos tratamentos, com médias de 1,86 e 1,69 kg de MS m⁻³, respectivamente. Verificou-se que a inclusão da irrigação no sistema produtivo forrageiro aumentou o custo total de produção, em média, em 13,42 %. A irrigação por aspersão convencional fixa é viável economicamente, aumentando o retorno econômico, para as condições deste estudo.

Palavras chaves: Função de produção, *Pennisetum americanum* L., análise econômica.

ABSTRACT

IRRIGATION RESPONSE TO MILLET FORAGE PRODUCTION

AUTHOR: Rogério Ricalde Torres

ADVISOR: Adroaldo Dias Robaina

Irrigation is a technique that seeks to ensure high yields and reduce periods of forage scarcity. With the inclusion of irrigation, there is an increase in the cost of production, this should be less than the income added to ensure sustainability in their use. The objective of this study was to evaluate the technical and economic performance of irrigated millet forage production. The study was developed in the agricultural crops of 2014/2015, in Santiago, RS and 2015/2016, in Santa Maria, RS. The experimental design was organized in randomized blocks with four replicates and six levels of supplementary irrigation: 0, 25, 50, 75, 100 and 125 % of the reference evapotranspiration (ET_o). The ET_o was determined by the Penman-Monteith method (ALLEN et al., 1998). The millet crop (cultivar ADR500) was sown in the months of November 2014 and 2015, under no-tillage system, with spacing of 0.36 m between rows. The dry matter yield of forage was evaluated, being the collections at 50, 80, 110 and 140 days after sowing (DAS) at a height of 0.15 m in relation to the soil surface. With the conversion of forage yields of millet to animal live weight and the quantification of forage production costs, the benefit-cost ratios of the non-irrigated and irrigated production of five agricultural crops were compared (2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017) for the two regions. Significant effect was observed for the production of millet fodder in the two agricultural seasons 2014/2015 and 2015/2016, adjusting to the quadratic equation. The maximum technical efficiencies among the treatments were found for the two crops on the 125 % ET_o level, with forage yields of 15,494.47 and 14,779.50 kg DM ha⁻¹, respectively. The water productivity did not present statistical difference for the different treatments, with averages of 1.86 and 1.69 kg of DM m⁻³, respectively. It was verified that the inclusion of irrigation in the forage productive system increased the total cost of production, on average, by 13.42 %. Fixed conventional sprinkler irrigation is economically viable, increasing the economic return, for the conditions of this study.

Keywords: Production function, *Pennisetum americanum* L., Economic analysis.

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

- Figura 3.2.3a – Curva de retenção de água no solo (Fazenda Liberdade), números indicam profundidade em centímetros 34
- Figura 3.2.3b – Curva de retenção de água no solo (Politécnico UFSM), números indicam profundidade em centímetros 34

ARTIGO 1

- Figura 1 – Balanço hídrico considerando a evapotranspiração da cultura, precipitação efetiva, chuva escoada, drenagem profunda, necessidade de irrigação (100% ETo), até profundidade de 0,50 m, para os diferentes tratamentos (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da ETc), nos períodos de condução dos experimentos. 60
- Figura 2 - Produção de forragem de milho das safras 2014/2015 e 2015/2016 em relação às lâminas de irrigação. 61
- Figura 3 – Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo logístico ($Y=a/(1+\exp(b-c.x))$) para produção acumulada de forragem de milho (kg de MS ha^{-1}) (Y) para as duas lâminas de 125% da ETo (lâminas onde encontrou-se a MET), para as safras agrícolas de 2014/2015, 2015/2016 e curva média, em função das lâminas totais aplicadas (mm) (X) com as médias observadas. 63
- Figura 4 – Comparação entre as produções de massa seca acumulada estimada pela equação (Média 125% ETo - 2014/2015 e 2015/2016) e produções de massa seca acumulada observadas nos tratamentos (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da ETo) das duas safras agrícolas (2014/2015 e 2015/2016). 65

ARTIGO 2

- Figura 1 – Estimativas de produção de forragem de milho (kg ha^{-1}) e cargas animal ($\text{kg de PV ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), com e sem irrigação, para as lâminas de irrigação de 0, 25, 50, 75, 100 e 125 % ETo, nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul. 83
- Figura 2 – Ganho de peso vivo (kg de PV ha^{-1}), custo fixo (CFNRI + CFRI) ($\text{R\$ ha}^{-1}$), custo total (CFNRI + CFRI + CVRI) ($\text{R\$ ha}^{-1}$) e receita bruta ($\text{R\$ ha}^{-1}$), médios das safras agrícolas, para cada tratamento, nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul. 86

LISTA DE TABELAS

APRESENTAÇÃO

Tabela 2.2.3– Valores de escoamento superficial (C) em função da textura do solo, declividade e cobertura vegetal.	22
Tabela 3.2.1 – Dados do laudo de análise química do solo das áreas experimentais.....	31
Tabela 3.2.2 – Distribuição granulométrica do solo e classe textural, nas diferentes profundidades, para os solos das duas áreas experimentais (médias de três repetições).....	32
Tabela 3.2.3a – Densidade do solo e umidade volumétrica das amostras submetida às diferentes tensões de água no solo, nas diferentes profundidades, para os solos das duas áreas experimentais (médias de três repetições).....	33
Tabela 3.2.3b – 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), Coeficiente de cultivo (K _c), Evapotranspiração da Cultura (ET _c), Turno de Rega (TR)	35

ARTIGO 1

Tabela 1 – Precipitação efetiva (mm), lâminas de irrigação (mm) e produtividade da água (kg de MS m ⁻³) para cada tratamento dos dois anos agrícolas.	62
Tabela 2 – Estimativas, limites superiores (LS) e inferiores (LI) dos parâmetros (a, b e c) e coeficiente de determinação do modelo logístico em função da lâmina total aplicada (precipitação efetiva + irrigação), para os tratamentos 125 % ET _o das duas safras agrícolas e com a média dos dois tratamentos.....	64
Tabela 1 – Precipitação efetiva (mm), número de irrigações e necessidade de irrigação no período (mm), para as diferentes lâminas de irrigação (% ET _o), para a cultura do milho forrageiro, nas safras agrícolas de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.....	82

ARTIGO 1

Tabela 2 – Composição dos custos relacionados aos sistemas produtivos, com e sem irrigação, para as safras agrícolas de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 com as lâminas de irrigação de 25, 50, 75, 100 e 125 % ET _o , nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.	84
Tabela 3 – Custos de produção da tonelada de forragem de milho (R\$ ton ⁻¹) dos diferentes sistemas produtivos, com e sem irrigação, para as safras agrícolas de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 e para as lâminas de irrigação de 25, 50, 75, 100 e 125 % ET _o , nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.....	85
Tabela 4 – Expectativa de lucro por hectare (R\$ ha ⁻¹) dos diferentes sistemas produtivos e relação benefício/custo, média das safras agrícolas, com e sem irrigação, para as safras agrícolas de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 e para as lâminas de irrigação de 25, 50, 75, 100 e 125 % ET _o , nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.....	86

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO GERAL	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE PASTAGEM E FORRAGEIRAS	17
2.1.1	Milheto ou pasto italiano (<i>Pennisetum americanum</i> L.)	18
2.2	IRRIGAÇÃO	20
2.2.1	Consumo de água na irrigação	21
2.2.2	Manejo de água na irrigação	21
2.2.3	Precipitação efetiva	22
2.2.4	Irrigação em pastagens	22
2.2.5	Principais sistemas de irrigação em pastagens	23
2.2.6	Relação benefício/custo da irrigação de pastagens	24
2.2.7	Ganho de peso animal	26
2.2.8	Função de produção	27
2.2.9	Custo de produção	28
2.2.9.1	Custos fixos 28	
2.2.9.2	Custos variáveis	28
2.2.10	Análise da viabilidade do investimento	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	ÁREAS EXPERIMENTAIS	30
3.2	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E HÍDRICA DO SOLO.....	31
3.2.1	Características químicas	31
3.2.2	Características físicas	32
3.2.3	Características hídricas	32
3.2.3.1	Volume de infiltração e velocidade de infiltração básica	36
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	36
3.4	IRRIGAÇÃO DA CULTURA.....	36
3.4.1	Quantidade de água aplicada na irrigação	37
3.4.2	Controle da aplicação da água de irrigação	38
3.5	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	39
3.5.1	Produção de massa seca	39
3.5.2	Análise e interpretação dos dados	40
3.6	ESTIMATIVA DE GANHO DE PESO ANIMAL	40
3.7	PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA ÁGUA APLICADA.....	41
3.7.1	Máxima eficiência técnica (MET) e econômica (MEE)	41
3.8	ANÁLISE DA VIABILIDADE DO INVESTIMENTO	42
3.8.1	Custos de produção e retorno econômico	42
3.8.1.1	Determinação da demanda hídrica.....	44
3.9	PRODUTIVIDADE DA ÁGUA.....	45
4	ARTIGO 1 – FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DA ÁGUA EM FORRAGEM DE MILHETO IRRIGADA	46
5	ARTIGO 2 - BENEFÍCIO LÍQUIDO DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE MILHETO	66
6	DISCUSSÃO GERAL	87
7	CONCLUSÕES GERAIS	93
	REFERÊNCIAS	94

APÊNDICE A – TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA (°C), PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTIAGO, RS...	101
APÊNDICE B– TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA (°C), PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTA MARIA, RS.	101
APÊNDICE C – UMIDADE RELATIVA DO AR (%), PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTIAGO, RS.	102
APÊNDICE D – UMIDADE RELATIVA DO AR (%) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTA MARIA, RS.....	102
APÊNDICE E – VELOCIDADE DO VENTO (M S ⁻¹) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTIAGO, RS.....	103
APÊNDICE F – VELOCIDADE DO VENTO (M S ⁻¹) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTA MARIA, RS.....	103
APÊNDICE G – RADIAÇÃO SOLAR (W M ⁻²) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTIAGO, RS.....	104
APÊNDICE H – RADIAÇÃO SOLAR (W M ⁻²) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTA MARIA, RS.....	104

1 INTRODUÇÃO

A alimentação dos rebanhos pecuários, no Brasil e no mundo, baseia-se em pastagens. Segundo FAOSTAT (2009) os ambientes pastoris são responsáveis por aproximadamente 26 % da superfície terrestre, equivalente a 70 % da área agrícola. Nos últimos anos, notou-se um grande aumento do rebanho bovino brasileiro, que foi de 155 milhões de cabeças em 1993, e cresceu para 196 milhões de cabeças, duas décadas depois, tornando-se o maior rebanho bovino comercial no mundo (FAOSTAT, 2015). A importância da pecuária brasileira no cenário mundial deve-se, em parte, à intensificação da bovinocultura. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (2015), o país é o segundo maior produtor de carne bovina do mundo, sendo que mais de 97 % do rebanho é criado em pastagens.

No Brasil, no ano de 2014, a produção agropecuária foi responsável por aproximadamente 23 % do produto interno bruto (PIB), dos quais 30 % são resultantes da pecuária (PORTAL PLANALTO, 2015), enquanto no Rio Grande do Sul, o agronegócio contribui com 40,58 % do PIB estadual (FARSUL, 2015), mostrando sua grande importância na economia.

O estado do Rio Grande do Sul tem grande participação na agropecuária brasileira. Normalmente, o rebanho animal é mantido em sistema extensivo sob pastejo em campo nativo durante o período de primavera-verão.

Na busca pela maximização do uso das áreas agrícolas, produtores têm optado por inserir forrageiras tropicais (alta capacidade produtiva e elevada qualidade) em suas pastagens. Essa prática é tida como uma tentativa para estabilizar ou aumentar a produção pecuária por unidade de área, amenizando a carência alimentar dos animais em pastejo em épocas de menor produção de massa verde devido principalmente às adversidades climáticas.

A utilização de pastagens cultivadas de primavera-verão, conforme Muehlmann et al. (1997) e Restle et al. (2002) caracteriza-se como excelente alternativa no fornecimento de forragem com melhor qualidade nutritiva para os animais, pois aumenta a eficiência do sistema produtivo devido ao elevado ganho diário de peso dos animais. No estado do RS, conforme citado por Vital et al. (2015), são utilizadas diversas espécies forrageiras tropicais, dentre as quais se destaca o milheto, que vem sendo utilizado como forragem por meio de pastejo ou cortada e ofertada aos animais via cocho.

Segundo Fontaneli (2008), o milheto apresenta alto potencial de produção, rápido estabelecimento e bom valor nutritivo, sendo conforme Cunha et al. (2009), muito utilizado

na região da Campanha do Rio Grande do Sul. A cultura do milheto apresenta características agrônômicas importantes, como a alta produção de massa seca, o que favorece a sua utilização como cobertura do solo ou adubação verde, e a possibilidade da utilização de seus grãos na alimentação humana e animal.

A manutenção da qualidade e produção da forragem ao longo do tempo em pastagens cultivadas depende de diversos fatores (BANDINELLI et al., 2003) dentre os quais destaca-se o aporte hídrico em períodos de estiagens.

Em períodos de estiagem, o déficit hídrico pode comprometer a produção das culturas agrícolas (DE MATTOS et al., 2005) e causar alterações na qualidade da forragem (ALMEIDA, 2011). O milheto, em especial, quando submetido a períodos de estiagem pode ter seu desenvolvimento prejudicado, diminuindo sua resposta produtiva. Tal fato pode ser mitigado pelo uso da irrigação (OLIVEIRA et al., 2015).

Desse modo, para manter e elevar a quantidade e a qualidade das pastagens em períodos com chuva irregular, a tecnologia da irrigação é uma alternativa que pode ser utilizada. No entanto, a implantação da irrigação nos sistemas de produção pecuários, aumenta os custos de produção, com aquisição dos equipamentos e energia consumida durante a operação dos sistemas de irrigação. Apesar disso, Soares et al. (2015) comprovaram a viabilidade da utilização da irrigação na fase de terminação de bovinos, ressaltando a necessidade de obter altas produtividades a fim de diluir os custos oriundos da adoção desta tecnologia nos sistemas pecuários.

A análise econômica é fundamental para avaliar a saúde financeira das empresas rurais que utilizam irrigação em pastagens. Embora a irrigação possa trazer benefícios às culturas, o risco de implantação de sistemas de irrigação deve ser avaliado, objetivando-se incrementos de rendimentos superiores aos custos da tecnologia. Determinar os ganhos proporcionados com a irrigação, por meio da avaliação da viabilidade técnica e econômica da produção das culturas é de suma importância para a decisão de sua implantação (DOORENBOS e KASSAM, 1994).

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica e econômica da produção de forragem de milho, submetido a diferentes lâminas de irrigação nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

Identificar a resposta produtiva (matéria seca) do milho quando submetido às diferentes lâminas de irrigação;

Quantificar os custos de produção (relacionados e não relacionados à irrigação) da pastagem de milho;

Avaliar o incremento de custo em relação ao incremento de produção de forragem de milho em sistema irrigado e não irrigado;

Analisar a relação custo-benefício, da implantação de irrigação em pastagens de milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A fundamentação teórica é importante para que haja embasamento das práticas realizadas, proporcionando interação da teoria com a prática. Neste capítulo serão revisados os principais assuntos pertinentes ao desenvolvimento do trabalho.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE PASTAGEM E FORRAGEIRAS

A denominação pastagem, segundo Pupo (1979), é o local destinado à produção de forrageiras, que são plantas, geralmente herbáceas, que podem servir de alimento para animais. Pode ser oferecido diretamente (sem colheita) ou indiretamente (colhidas e fornecidas imediatamente ou guardadas para uso posterior na forma de feno ou silagem). Ainda, segundo o autor, as pastagens podem ser divididas em naturais ou nativas (forrageiras locais, normalmente perenes) e artificiais ou cultivadas (normalmente introduzidas por sementes ou mudas).

Durante o período de primavera-verão, as pastagens nativas do Rio Grande do Sul alcançam melhor qualidade e maior produção. Porém, para manter altos níveis alimentares para os rebanhos, a inserção de pastagens cultivadas é uma ótima alternativa dentro de um sistema de produção, o qual fornece qualidade de forragem aos animais em pastejo, além de maior produção por unidade de área (MORAES; MARASCHIN, 1988).

Conforme Cunha et al. (2007), as pastagens cultivadas são alternativas práticas e viáveis de alimentação animal em sistemas intensivos de produção e possuem um custo considerado baixo, aliado à facilidade de implantação e manejo, quando comparado a outros sistemas de produção que utilizam concentrados.

De acordo com Pupo (1979), de maneira resumida, os principais sistemas de pastejo existentes são: o pastejo contínuo, o pastejo alternado, o pastejo protelado (diferido), o pastejo rotativo e o pastejo em faixas. Dentre esses sistemas, o sistema rotativo, também chamado de rodízio, caracteriza-se pela utilização mais intensiva das pastagens. Nesse sistema, o número de parcelas é bem superior aos anteriores e o gado passa sucessivamente em cada uma até retornar à primeira, já suficientemente descansada (recuperada) e apta a receber novamente os animais.

Ainda segundo o mesmo autor, o número de animais por unidade é maior que nos sistemas anteriores, o tempo de ocupação mais curto (4 a 6 dias) e o tempo de descanso em torno de 35 dias na estação das águas e cerca de 90 dias na estação seca (estado de São

Paulo). No início do período de descanso a brotação é lenta, mas atinge rápido desenvolvimento cerca de quatro semanas após o início desse período (PUPO, 1979).

O estudo de espécies forrageiras na implantação de pastagens cultivadas de primavera-verão é de extrema importância, uma vez que possuem baixo custo e grande parte da carne e do leite produzidos advém de rebanhos mantidos a pasto durante todo o ano (FERNANDES et al., 2003). Pastagens cultivadas no verão possuem alta qualidade, o que proporciona excelentes índices produtivos dos rebanhos (RESTLE et al., 2002).

A produção e qualidade das pastagens cultivadas resultam do manejo no qual estão submetidas, sendo influenciadas por fatores edafo-climáticos, pelo estágio de desenvolvimento das plantas e adequado fornecimento hídrico (PALIERAQUI et al., 2006).

Para realizar o manejo de pastagens, a literatura indica a utilização de uma oferta de forragem adequada para o processo de colheita de biomassa aérea. Tal oferta é dependente da espécie forrageira e possibilita determinado ganho de peso vivo aos animais (HERINGER; CARVALHO, 2002).

Segundo Machado et al. (2008) ofertas de 8 a 12 % do peso vivo, de capim-marandu, permitem que os animais consumam as folhas verdes, com boa qualidade da dieta. Fator determinante no rendimento de ganho de peso animal. Em pastagem natural, Pinto et al. (2008) indicam que as ofertas de forragem de 8,0 % na primavera e 12,0 % no restante do ano proporcionam ganho médio diário superior a 0,450 kg e acúmulo de 222,47 kg por unidade de área, na estação de crescimento

Segundo Orth et al. (2012) as forrageiras cultivadas mais utilizadas no Rio Grande do Sul são o milheto, o teosinto e o sorgo forrageiro. Os autores citam ainda a utilização de capim sudão, o qual possui alto potencial de produção.

2.1.1 Milheto ou pasto italiano (*Pennisetum americanum* L.)

O milheto ou pasto italiano é uma gramínea de ciclo anual, de estação quente, cespitosa, apresenta crescimento ereto com excelente produção de perfilhos, pertencente à família Poaceae (Gramineae). Foi domesticado há mais de 4000 anos, nas terras altas do Sahara. Atualmente, é uma das culturas mais cultivadas nos países da África Saheliana e Sudanesa (PEREIRA FILHO et al., 2009).

O milheto possui características agrônômicas de alta resistência à seca, adaptação a solos de baixa fertilidade, crescimento rápido e boa produção de massa e de grãos, podendo

ser utilizado como cobertura de solos no plantio direto (NETTO, 1998). No Brasil destaca-se a sua utilização como cobertura verde, podendo ser cultivado na entressafra (MARCANTE; CAMACHO; PAREDES, 2011).

O milheto foi introduzido para a produção de sementes destinadas à fabricação de ração e como planta de cobertura do solo para o sistema de plantio direto (PEREIRA FILHO et al., 2009). Por possuir excelente adaptação climática é amplamente difundido e cultivado no Rio Grande do Sul.

Os primeiros relatos do milheto no Brasil vêm do Rio Grande do Sul no ano de 1929 (ARAÚJO, 1972). Este cultivo tem sido utilizado de diversas formas, como planta forrageira em pastoreio para o gado, especialmente na região Sul.

Segundo Paiva (2006) o milheto é uma espécie agronomicamente importante de duplo propósito, pois seus grãos são utilizados como fonte de alimento humano, na produção de ração animal e suas folhas e colmos como forragem. Esta gramínea é considerada o sexto cereal mais importante do mundo.

Da Costa et al. (2011) estudando o comportamento de novilhas sob pastejo contínuo, em pastagens com milheto e papuã, observaram oferta média de forragem equivalente a 14,2 % (14,2 quilogramas de massa seca para cada 100 quilogramas de peso vivo animal), a qual proporcionou uma carga animal (lotação) de 2.183,3 kg ha⁻¹ (4,37 UA ha⁻¹) e ganho médio diário de 0,766 kg.

A utilização da unidade animal (UA) por unidade de área (ha), segundo Pupo (1979) é considerada mais exata que cabeças por unidade de área (ha). Conforme utilizado por Potter et al. (2000) e Trindade Junior et al. (2015) cada UA corresponde a uma carga animal padrão de 450 kg de peso vivo.

Pereira Filho et al. (2003) relatam que, dependendo da época do ano, das condições de chuva e do período, o milheto pode produzir até 70 ton ha⁻¹ de massa verde (MV). Segundo Bogdan (1977) o milheto apresenta potencial produtivo de até 20 ton ha⁻¹ de MS, porém as médias ficam entre 7 e 10 ton ha⁻¹ de MS, dependendo da cultivar, condições climáticas e fertilidade do solo.

Heringer e Moojen (2002), em Santa Maria, RS, com trabalho objetivando avaliar a influência de doses de nitrogênio na produção de milheto, obtiveram produções totais de forragem entre 8862 e 17403 kg ha⁻¹ de MS, com uma máxima produção 17.416 kg ha⁻¹ de forragem, com dose equivalente a 464 kg ha⁻¹ de N.

Segundo Landau e Pereira Filho (2010), o milheto possui resistência ao déficit hídrico, podendo completar seu ciclo com precipitações inferiores a 300 mm anuais. Tem sido cultivado ocasionalmente no Oeste da Índia, onde a pluviosidade é de apenas 130 à 180 mm anuais. O milheto possui alta eficiência no uso da água, produzindo 1g de matéria seca com 282 a 302 g de água, enquanto que o milho e o sorgo necessitam, respectivamente, de 370 e 321 g. A tolerância do milheto às baixas precipitações anuais depende, principalmente, do rápido crescimento e da maturação precoce da planta, de maneira que as mesmas escapem da seca e completem o seu desenvolvimento antes que a estação chuvosa termine.

Silva et al. (2015) com o objetivo de avaliar cultivares de milheto em função de níveis de lâminas de irrigação (100, 80, 60 e 40 % da ETc), cultivado em vasos com solo degradado coletado em Irauçuba-CE, encontraram comportamento linear em relação à produção de massa seca total e de colmo, de plantas com $R^2 = 0,98$ e $0,95$ respectivamente. Já para a variável massa seca da parte aérea, encontraram equações lineares (para as cultivares ADR500, BRS1501, BRS1503 e IPABulk-1) e quadrática (cultivar BRS1502), demonstrando as diferentes capacidades de resposta à irrigação, na produção de massa seca de folhas (das diferentes cultivares) podendo ser observado que a cultivar ADR500 foi a mais suscetível ao déficit hídrico.

2.2 IRRIGAÇÃO

A irrigação é a atividade agrícola que visa atender às exigências hídricas das culturas, as quais são dependentes das condições climáticas, de planta e umidade do solo (SENTELHAS et al., 2001). A irrigação permite a suplementação de água nos períodos de estiagem possibilitando uma melhor utilização das áreas agrícolas (RESENDE; ALBUQUERQUE; COUTO, 2003).

Em um estudo realizado na região de Santiago, Rio Grande do Sul, no período compreendido entre 1961 e 2010, as culturas do feijão, milho e soja deixaram de produzir mais de 50 % dos seus potenciais produtivos, em 65, 50 e 41 % dos anos simulados, respectivamente. O fato de não alcançar produtividades próximas às potenciais é atribuído à escassez hídrica, ocasionada pela má distribuição das chuvas (VIVAN et al., 2015). Tais resultados mostram a importância da introdução da irrigação nos sistemas produtivos.

2.2.1 Consumo de água na irrigação

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2017), no Brasil, 67,2 % da água consumida, é destinada à irrigação, enquanto que para o abastecimento animal são destinados 11,1 %. Fato este que mostra a importância do setor no consumo de água. Para Brandão et al. (2006), a utilização desordenada e o mau gerenciamento dos recursos hídricos geram problemas sociais e ambientais de grande relevância, relativos tanto à disponibilidade quanto à qualidade da água.

Para melhorar a utilização da água durante as irrigações, deve-se fazer um correto manejo desta, a fim de definir quando e com quanto irrigar as culturas. Com um correto manejo de água no solo pode-se aumentar o desempenho e diminuir as perdas, tornando o sistema mais eficiente e sustentável (SOARES, 2010).

2.2.2 Manejo de água na irrigação

O manejo da irrigação pode ser realizado com base na evapotranspiração de referência (ET_o) estabelecido por Doorenbos e Kassan (1979), o qual refere-se à quantidade de água evapotranspirada de superfície gramada, com grama batatais em crescimento ativo e mantida com altura uniforme de 0,08 a 0,12 m.

Mendonça et al. (2003), em estudo realizado na área da Estação Experimental da PESAGRO-Rio, em Campos dos Goytacazes, RJ, com a instalação de um lisímetro de pesagem dotado de células de carga, cultivado com grama tipo Batatais (*P. notatum L.*), compararam os valores da ET_o obtidos no lisímetro de pesagem com os valores obtidos com os métodos de Penman-Monteith e outros (Radiação solar, Makkink, Linacre, Jensen-Haise, Tanque classe A e Atmômetro SEEI modificado). Todos os métodos avaliados, com exceção do Atmômetro SEEI modificado, atenderam satisfatoriamente à estimativa da ET_o para a região de estudo, principalmente em períodos de sete e dez dias. Estes resultados mostram a que a determinação da ET_o pode ser feita pelo método de Penman-Monteith.

Esse método de determinação da ET_o, de acordo com Allen et al. (1998), foi escolhido pela FAO para ser utilizado como padrão mundial para o cálculo da evapotranspiração de referência dos cultivos agrícolas.

2.2.3 Precipitação efetiva

O manejo da irrigação, no que se refere ao fator quantidade de água a ser fornecida, depende da precipitação que ocorre na lavoura. Nem toda a precipitação que ocorre é efetivamente infiltrada no solo ficando disponível às plantas. Para a determinação desta precipitação efetiva pode ser utilizado o método proposto por Millar (1974), o qual leva em consideração a classe textural, a declividade da área (%), e a cobertura vegetal, conforme a tabela 2.2.3.

Tabela 2.2.3– Valores de escoamento superficial (C) em função da textura do solo, declividade e cobertura vegetal.

Declividade (%)	Solos Arenosos	Solos Francos	Solos Argilosos
Florestas			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,25	0,35	0,50
10 - 30	0,30	0,50	0,60
Pastagens			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,15	0,35	0,55
10 - 30	0,20	0,40	0,60
Terras cultivadas			
0 - 5	0,30	0,50	0,60
5 - 10	0,40	0,60	0,70
10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: Adaptado de Millar (1974).

2.2.4 Irrigação em pastagens

A escassez hídrica é um dos fatores mais importantes na limitação da produtividade das plantas em todo o mundo. O suprimento artificial de água via irrigação é um importante instrumento para amenizar os impactos das oscilações climáticas sobre a produção agrícola (AMUDHA; BALASUBRAMANI, 2011).

A irrigação em pastagens cultivadas é uma técnica que vem sendo implantada com objetivo de proporcionar condições de maior desenvolvimento vegetativo e, conseqüentemente, elevação da produção de massa (PINHEIRO, 2002).

No Estado do Rio Grande do Sul, a disponibilidade de água às plantas é o principal fator responsável pela frequente oscilação do rendimento das culturas (MATZENAUER et al., 1995). Períodos em que ocorre escassez hídrica (veranicos) causam a diminuição na produção de forragem, sendo que a magnitude dessa diminuição depende da duração e do número de veranicos. A ocorrência de irregularidade das chuvas normalmente acontece no período de primavera-verão, prejudicando o desenvolvimento das pastagens.

A evapotranspiração nas pastagens, geralmente excede a precipitação pluvial efetiva em alguns períodos, por isso a distribuição de água ao longo do ciclo das pastagens, por meio de irrigação é a garantia para se produzir com altos índices de produtividade e de rentabilidade previamente estabelecidos (CUNHA et al., 2008).

Dessa maneira, a irrigação suplementar de pastagens cultivadas tem se caracterizado como uma técnica inovadora e de grandes resultados no estado, devido à possibilidade de oferta de alimento de qualidade aos rebanhos, durante todo o ano (DRUMOND, 2003).

O uso da irrigação em pastagens cultivadas de verão como alternativa para suprir a deficiência provocada por períodos de déficit hídrico tem se caracterizado como alternativa eficiente para a produção, uma vez que possibilita incremento e oferta de massa forrageira de elevada qualidade nutritiva para o animal. Ribeiro et al. (2009) dizem que a irrigação, durante períodos de seca, provoca aumento da proporção de lâminas foliares, evidenciando relatos de Corsi et al. (1998) de que a escassez hídrica impõe limitações à taxa de expansão de folhas, ao número de folhas por perfilho e ao número de perfilhos.

Diversos autores já constataram efeitos significativos da irrigação sobre a produtividade de forrageiras tropicais estabelecendo a viabilidade e importância da técnica para o adequado desenvolvimento animal (DOURADO NETO et al., 2002; SOUZA, 2005; GARGANTINI et al., 2005). Segundo Xavier et al. (2001) desde que a temperatura e a luminosidade não sejam fatores limitantes há aumento na produtividade das culturas em resposta à introdução da tecnologia da irrigação.

2.2.5 Principais sistemas de irrigação em pastagens

Em áreas irrigadas, a produção das culturas depende da quantidade (lâmina) e eficiência de aplicação de água. Segundo Mendonça et al. (2007), existem métodos que se adaptam melhor às condições locais de solo, de topografia e de manejo da cultura a ser irrigada. Conforme Drumond e Aguiar, (2005) estes são fatores que devem ser levados em

conta na aquisição de sistemas de irrigação, uma vez que existem diversas alternativas para projetos no mercado.

Em áreas de pastagem, existe a inclusão de cercas para a formação de poteiros, manejo e deslocamento dos animais, fatores que interferem na escolha do sistema de irrigação a ser utilizado. Segundo Mendonça et al. (2007), os sistemas de irrigação por aspersão são os mais adequados a essa função.

Dentre os tipos de sistemas de irrigação por aspersão existentes, destacam-se a irrigação por aspersão convencional, auto-propelido e o pivô-central, os quais diferem na sua adaptabilidade em relação às condições locais de solo, topografia, clima, cultura, qualidade de água, fatores econômicos e condições de manejo agronômicas (FARIA; REZENDE, 1997).

Na irrigação de pastagens, destacam-se os sistemas do tipo aspersão por pivô central e a aspersão em malha (DRUMOND; AGUIAR, 2005). Geralmente, em grandes áreas, onde não se viabiliza a utilização de irrigação convencional, são utilizados os sistemas de pivô central ou auto-propelido. Em pequenas áreas é utilizada a irrigação por aspersão convencional, com sistemas móveis ou fixos. O que vai determinar se o sistema é móvel ou fixo será a disponibilidade de mão-de-obra e o nível de investimento desejado pelo produtor, uma vez que, para a utilização dos sistemas móveis é necessário mudar as linhas e aspersores de posição, demandando muito tempo e trabalho. Em contrapartida, tal tarefa não é necessária na operação de sistemas fixos, quando a única necessidade é abrir e fechar registros, ou mesmo automatizar tal tarefa, porém com maior custo de aquisição agregado.

2.2.6 Relação benefício/custo da irrigação de pastagens

A produção das culturas em resposta à irrigação depende de vários fatores, dentre os quais se destacam: a quantidade e frequência da irrigação, os diferentes métodos de aplicação de água, o estágio de desenvolvimento da cultura, o tipo e a quantidade de fertilizantes aplicados, o manejo da espécie e cultivar utilizada, a idade de corte, o método de colheita adotado, a variabilidade do solo, as condições climáticas, a ocorrência de pragas e doenças.

Assim, faz-se necessário realizar análises que permitam averiguar a obtenção dos melhores resultados para a viabilidade técnico-econômica da implantação e condução de pastagens. É interessante delimitar a região de produção racional que mostre as diversas combinações dos fatores e dos respectivos rendimentos (FRIZZONE, 1993).

Para obtenção da relação benefício-custo se faz necessária a determinação da possível produtividade a ser alcançada, e da referente lâmina a ser aplicada. Vivan et al. (2015) encontraram justificativa para a recomendação de sistemas de irrigação para as culturas de milho, soja e feijão, baseada na acentuada variabilidade climática ao longo dos anos, que ocasionou redução de mais de 50 % do potencial produtivos em 40 % dos anos simulados. Os autores indicam uma tendência de descapitalização dos produtores, causada pelas quebras de produtividade.

A técnica da irrigação é importante para a intensificação da produção animal, devendo o seu uso ser bem planejado. Para compensar os elevados custos da tecnologia, a produtividade deve ser elevada. Além da irrigação há a necessidade de conhecimento prévio sobre o manejo de pastagens, escolha de animais com elevado potencial produtivo e capacidade gerencial (SOARES et al., 2015). Ainda, segundo os autores, a análise econômica é fundamental para avaliar a sustentabilidade das empresas rurais.

O custo de produção em sistemas produtivos com maior nível tecnológico é bastante elevado quando comparado a sistemas mais arcaicos. A avaliação da relação benefício/custo dos sistemas produtivos é de grande importância para os produtores rurais, devendo, ser determinados os benefícios, expressos pelo aumento da receita, em virtude da adoção da tecnologia, bem como os custos (para a adoção da mesma), representados pelo acréscimo nas despesas necessárias para a adoção da tecnologia (irrigação). Segundo Frizzone e Andrade Júnior (2005), a determinação da viabilidade econômica de um sistema produtivo deve ser levada em consideração para a adoção ou não de novas práticas tecnológicas. Para a realização de uma análise benefício/custo é necessário determinar a produtividade obtida e os respectivos custos de produção de uma atividade tecnológica.

De acordo com Fernandes (2012) o aumento na produtividade poderá não refletir em aumento na lucratividade do produtor rural, tendo em vista que nem sempre haverá um retorno financeiro satisfatório ao investimento executado. Decorre daí a necessidade da elaboração de estudos de viabilidade que disponibilizem informações relevantes para a correta tomada de decisão dos produtores, diminuindo as condições de incertezas em relação ao retorno esperado de seu investimento.

Pinheiro (2002) realizou estudo da viabilidade econômica da produção de pastagem de capim Tanzânia, irrigado e de sequeiro, em bovinocultura de corte, com a simulação de diferentes ganhos de peso diários 0,50, 0,75 e 1,00 Kg de peso vivo (PV) de bovinos machos para recria, e diferentes valores de venda da arroba (@) R\$ 35, 40 e 45 @⁻¹. Indicando que a

irrigação em pastagens no Brasil apresenta rentabilidade variável entre lucro de R\$ 770,00 e perda de R\$ 140,00 por hectare por ano. Diferenças estas atribuídas aos preços de venda da arroba de carne, às condições climáticas locais e ao tipo de manejo empregado. O autor diz ainda que a tomada de decisão de utilizar ou não irrigação em pastagens deve ser realizada para cada caso.

2.2.7 Ganho de peso animal

O ganho animal por unidade de área (ou a conversão de matéria seca de pasto em peso vivo animal) é dependente de diversos fatores, dentre eles a oferta e qualidade da forragem, da idade, potencial de ganho, sanidade e peso dos animais. Glienke (2012) avaliando seis experimentos realizados no setor de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) entre os anos de 2001 e 2010, com a recria de fêmeas bovinas de corte de diversas raças, encontrou ganhos médios diários variados, sendo para pastagens de milheto 10,76 % dos ganhos inferiores a $0,500 \text{ kg.dia}^{-1}$, 57,89 % entre $0,501$ e $1,000 \text{ kg.dia}^{-1}$, 23,42 % $1,001$ a $1,500 \text{ kg.dia}^{-1}$ e 8,23 % foram superiores a $1,500 \text{ kg.dia}^{-1}$. Para os experimentos, a autora cita que o estabelecimento das forrageiras foi realizado nos meses de novembro e dezembro e o período de utilização das áreas foi de 129 dias, com 35 dias para estabelecimento e 94 dias em ocupação com animais. Os experimentos foram mantidos com taxas de lotação contínua. A ingestão de matéria seca de milheto pelos animais, variou de 5 kg.dia^{-1} a aproximadamente $7,4 \text{ kg.dia}^{-1}$. A taxa de lotação média foi de $5,06 \text{ UA.ha}^{-1}$, que equivaleu a $8,7 \text{ novilhas.ha}^{-1}$. O ganho de peso por área foi de $8,15 \text{ Kg de peso corporal.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, com produção de peso corporal de $667,96 \text{ kg.dia}^{-1}$. A autora conclui que o ganho de peso médio por dia é similar para novilhas mantidas em pastagens de milheto e de Coastcross, e que com similar taxa de lotação (UA.ha^{-1}), a pastagem de milheto proporciona maiores produções de peso corporal por unidade de área.

Moojen et al. (1999) com a finalidade de obter a produção animal em pastagem de milheto submetida a doses de nitrogênio, obteve nos 86 dias em que os animais ficaram submetidos a uma pressão de pastejo de 10 %, ganhos médios diários de $0,553 \text{ kg.dia}^{-1}$ a $0,764 \text{ kg.dia}^{-1}$, encontrando resposta linear do ganho médio diário, do número de animais. $\text{dia}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ e do ganho de peso vivo por área, às doses de nitrogênio.

Pacheco et al. (2014) estudaram as características produtivas de milheto e capim sudão, submetidos a pastejo contínuo de vacas para o abate, encontraram com uma taxa de

lotação de 1741,1 kg.ha⁻¹ para o milho e 1881,7 kg.ha⁻¹ para o capim sudão, com ganho médio diário de 1,04 e 0,96 e o ganho de peso vivo por área de 4,18 e 4,55 kg.ha⁻¹ respectivamente. Os autores não encontraram variação no ganho médio diário com o avanço do ciclo das pastagens, já para o ganho de peso vivo por área, encontraram redução do ganho de 4,18 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ e 4,55 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ nos períodos de 1 a 21 e 22 a 42 dias respectivamente, em relação ao período 43 a 63, com 2,39 kg.ha⁻¹.dia⁻¹.

2.2.8 Função de produção

Vaux e Pruitt (1983) relatam que as funções de produção são necessárias para se determinar as produtividades físicas da água a serem utilizadas nas análises econômicas.

Os fatores de produção, segundo Arbage (2012), são os recursos que podem ser mobilizados para a produção de bens e serviços (terra, capital, trabalho e, mais recentemente, tecnologia). O mesmo cita que uma tecnologia será viável economicamente se o aumento na produção for maior que a elevação nos custos totais associados à sua utilização.

As tecnologias aumentam a oferta agrícola no setor primário, desde que proporcionem maiores produções com a mesma quantidade de insumo, ou obtenham o mesmo nível de produção com uma menor quantidade de insumo. 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. O fator tecnológico pode ser a quantidade (lâmina) de água aplicada durante o ciclo da cultura (variável independente). O autor cita a importância da análise da função de produção água-cultura, principalmente quando há escassez de água e esta for suprida por irrigação.

A produtividade de uma cultura quando submetida a diferentes lâminas de irrigação, em experimento de campo, apresenta uma curva de resposta cujo modelo normalmente é do tipo quadrático. Seus parâmetros são determinados através da análise de regressão conforme trabalhos realizados por Koetz (2017) e Kirchner et al., (2017).

A maioria dos produtores rurais aponta o aumento da produção animal, como a maior vantagem na implantação do sistema de irrigação, uma vez que animais bem alimentados produzem mais (LOPES et al., 2013).

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).

2.2.9 Custo de produção

O custo de produção, conforme Richetti (2014), auxiliará o produtor a planejar futuras ações buscando a otimização do capital investido, maximizando o lucro, devendo para tanto maximizar a produtividade e minimizar os custos 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 ou variáveis.

2.2.9.1 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 uma anuidade 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).

2.2.9.2 Custos variáveis

Os custos variáveis são aqueles em que as quantidades de insumos acompanham a alteração do volume de produção (CONAB, 2010). 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. Estes custos são em função do volume de água requerido que depende da necessidade de água da cultura, da condição climática e da eficiência da irrigação.

A cobrança pelo uso da água é um instrumento da Política Nacional dos Recursos Hídricos. De acordo com a Agência Nacional de Águas, (2014), possui o objetivo de incentivar a racionalização do uso da água, para preservar o recurso. Além de possibilitar a realização de programas, projetos, serviços e obras das bacias hidrográficas. A agência enfatiza que a cobrança não é mais um imposto. Ela é considerada uma remuneração pelo uso de um bem público, cujo preço deve ser fixado no âmbito dos Comitês de Bacia, segundo a legislação brasileira.

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 das 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.

2.2.10 Análise da viabilidade do investimento

A análise da viabilidade do investimento é fator determinante na decisão dos produtores na utilização da tecnologia da irrigação, devido ao alto custo na aquisição e de operação do sistema. Tal custo deve ser recompensado pelo acréscimo em produtividade ocasionado pela lâmina de irrigação aplicada (FRIZZONE, 2007).

Conforme Frizzone e Andrade Junior (2005), os critérios baseados no valor do dinheiro e no fluxo de caixa no tempo são mais coerentes entre si. Diversos trabalhos procuraram estimar o custo operacional de produção de uma atividade agrícola, para avaliar os indicadores de lucratividade, nos quais destacam-se a receita líquida, a renda líquida operacional, o índice de rentabilidade e a taxa de retorno (FURLANETO; ESPERANCINI, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos de campo, em duas áreas distintas e em anos consecutivos, com a cultura do milho submetida a diferentes lâminas de irrigação, com a finalidade de identificar a função de produção de massa seca da cultura.

A viabilidade técnica e econômica da irrigação foi avaliada através da relação benefício-custo, obtida com a simulação de possíveis ganhos de peso vivo animal (obtida com a função de produção de forragem) e, a quantificação dos custos de produção (através de custos oriundos de um projeto de irrigação e da demanda hídrica de séries históricas).

3.1 ÁREAS EXPERIMENTAIS

O primeiro experimento foi realizado na safra de 2014/2015, na Fazenda Liberdade, localizada no distrito de Tupantuba, pertencente ao município de Santiago, Rio Grande do Sul. O solo utilizado para a pesquisa é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, também denominado como Unidade de Mapeamento Cruz Alta, que segundo Streck et al. (2008), é o tipo de solo predominante da região.

O segundo experimento foi realizado na safra de 2015/2016, na área experimental do Colégio Politécnico da UFSM, no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. O solo utilizado para a pesquisa é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico, também denominado como Unidade de Mapeamento São Pedro, que segundo Streck et al. (2008), é o tipo de solo predominante da região.

O clima das regiões dos experimentos é temperado, que apresenta característica subtropical com inverno marcante, conforme a classificação de Köppen-Geiger, no tipo Cfa (Clima subtropical úmido). Neste tipo de clima a temperatura é moderada, com chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno há ocorrência de geadas, sendo a média de temperatura neste período inferior a 16°C. No mês mais quente as máximas são superiores a 30°C (MORENO, 1961).

Para a realização das atividades, nas duas áreas experimentais foram realizados diversos levantamentos de dados, a fim de se obter informações que possibilitaram a projeção e manejo dos sistemas de irrigação. Tais dados experimentais e as metodologias utilizadas são descritos nos subcapítulos a seguir.

3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E HÍDRICA DO SOLO

Para a análise química e física do solo foram abertas três trincheiras até a profundidade de 120 cm na área experimental.

3.2.1 Características químicas

Para a obtenção das características químicas do solo (Tabela 3.2.1) foram retiradas amostras deformadas de solo na profundidades de 0-10 cm, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Química do Solo do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Tabela 3.2.1 – Dados do laudo de análise química do solo das áreas experimentais.

pH água 1:1	Ca	Mg	Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP	% MO	% Argila	P- Mehlick	K
					Al	Bases					
				cmol dm ⁻³				m v ⁻¹		mg dm ⁻³	
5,2	5,2	1,7	0,1	7,6	1,3	68,3	6,2	2,8	44	18,9	252
6,2	5,6	2,5	0,0	8,4	0,0	77,3	6,5	2,3	24	11,8	144

O sistema de cultivo utilizado, nos dois experimentos foi o de semeadura direta sobre resíduos culturais. A adubação do milho foi realizada na linha de semeadura, com a utilização de uma semeadora-adubadora. Com interpretação das análises químicas dos solos, para expectativas de rendimento de 20.000 kg ha⁻¹ de MS, segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Regional Sul (2004). Foram aplicados, na base, adubo com formulação comercial NPK (nitrogênio, fósforo e potássio). A adubação de cobertura foi realizada de maneira fracionada, quando foram aplicados 150 Kg ha⁻¹ de uréia em cada uma das aplicações. As aplicações foram realizadas nos momentos de início do perfilhamento da cultura aos 25 dias após a emergência (DAE) e sete dias após cada corte 57, 87 e 117 DAE.

3.2.2 Características físicas

Para a obtenção das características físicas do solo foram coletadas amostras de solo, deformadas, nas profundidades de 0 – 20, 20 – 40, 40 – 60, 60 – 80 e 80 – 100 cm, em número de três repetições por profundidade.

As amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Rurais da UFSM, onde foram determinados os teores de areia silte e argila. Posteriormente foi determinada a classe textural de cada profundidade (Tabela 3.2.2).

Tabela 3.2.2 - Distribuição granulométrica do solo e classe textural, nas diferentes profundidades, para os solos das duas áreas experimentais (médias de três repetições)

Profundidade (cm)	Areia	Silte %	Argila	Classe textural
Solo Fazenda Liberdade - Latossolo Vermelho distrófico típico				
0-20	55,28	18,48	26,24	Franco argilo arenoso
20-40	48,97	17,09	33,95	Franco argilo arenoso
40-60	43,54	15,46	41,01	Argiloso
60-80	42,59	15,42	41,99	Argiloso
80-100	40,81	15,19	44,00	Argiloso
Solo Politécnico Santa Maria - Argissolo Vermelho distrófico típico				
0-20	37,91	41,95	20,14	Franco
20-40	32,27	38,30	29,44	Franco argiloso
40-60	27,71	26,16	46,13	Argiloso
60-80	16,20	28,86	54,94	Argiloso
80-100	17,98	42,01	40,00	Argilo siltoso

Tais resultados possibilitam a escolha do coeficiente de escoamento superficial de água no solo.

3.2.3 Características hídricas

Para a obtenção das características hídricas do solo foram coletadas amostras de solo indeformadas, nas profundidades de 0 – 20, 20 – 40, 40 – 60, 60 – 80 e 80 – 100 cm, em número de três repetições por profundidade.

As amostras coletadas foram processadas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Rurais da UFSM, onde foram determinadas as densidades dos solos e as umidades volumétricas do solo nos potenciais matriciais de 0, -1, -6, -10, -100 e -1500 kpa.

As umidades do solo nas tensões de 0, -1, -6 e -10 kpa foram determinadas com a utilização de uma mesa de tensão, já a umidade do solo na tensão de -100 kpa foi determinada com a utilização de placa porosa em panela de pressão utilizando a metodologia conhecida como Câmara de Richards (EMBRAPA, 2011) e, na tensão de -1500 kpa com a utilização de um WP4. As umidades volumétricas na tensão de -1500 kpa, das amostras da área experimental da Fazenda Liberdade foram estimadas utilizando equação proposta por Klein et al. (2010).

Na Tabela 3.2.3a podem ser observadas as densidades dos solos, e as umidades volumétricas para os diferentes potenciais de água no solo, nas diferentes profundidades, para as amostras dos solos das duas áreas experimentais.

Tabela 3.2.3a – Densidade do solo e umidade volumétrica das amostras submetida às diferentes tensões de água no solo, nas diferentes profundidades, para os solos das duas áreas experimentais (médias de três repetições)

Profundidade (cm)	ds (g cm ⁻³)	Umidade Volumétrica (%)					
		0 kpa	1 kpa	6 kpa	10 kpa	100 kpa	1500 kpa
Solo Fazenda Liberdade - Latossolo Vermelho distrófico típico							
0 - 20	1,65	43,9	36,8	30,9	29,8	25,6	14,9
20 - 40	1,44	47,8	38,7	32,4	30,7	23,8	16,3
40 - 60	1,27	55,9	44,0	32,9	30,8	23,7	17,1
60 - 80	1,20	56,0	46,2	34,7	31,8	23,9	16,5
80 - 100	1,25	58,8	47,3	38,5	35,6	27,0	18,0
Solo Politécnico Santa Maria - Argissolo Vermelho distrófico típico							
0 - 20	1,32	40,0	33,0	30,1	26,7	24,1	13,5
20 - 40	1,34	42,7	37,5	34,1	30,9	28,2	16,2
40 - 60	1,33	43,9	39,6	37,3	34,8	32,1	22,7
60 - 80	1,29	48,8	45,5	44,0	41,5	38,8	27,0
80 - 100	1,29	47,1	43,7	42,0	39,7	36,9	26,0

Onde: ds é a densidade do solo,

Nas Figuras 3.2.3a e 3.2.3b podem ser observadas as curvas de retenção de água no solo das duas áreas experimentais, podendo ser observada a umidade volumétrica (%) das diferentes profundidades.

Figura 3.2.3a – Curva de retenção de água no solo (Fazenda Liberdade), números indicam profundidade em centímetros

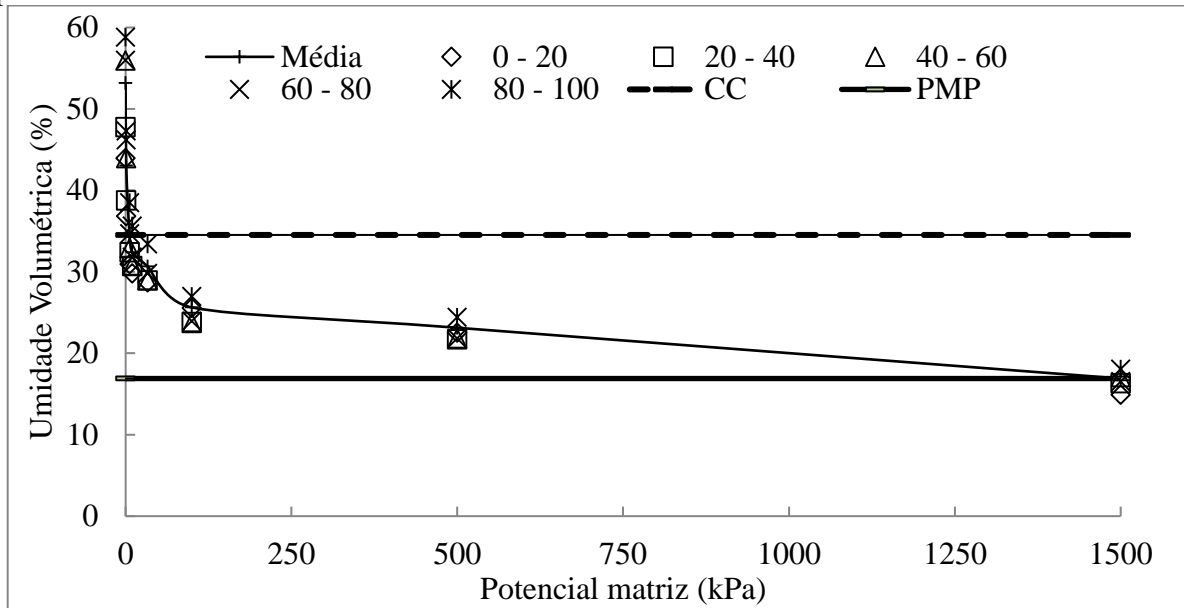
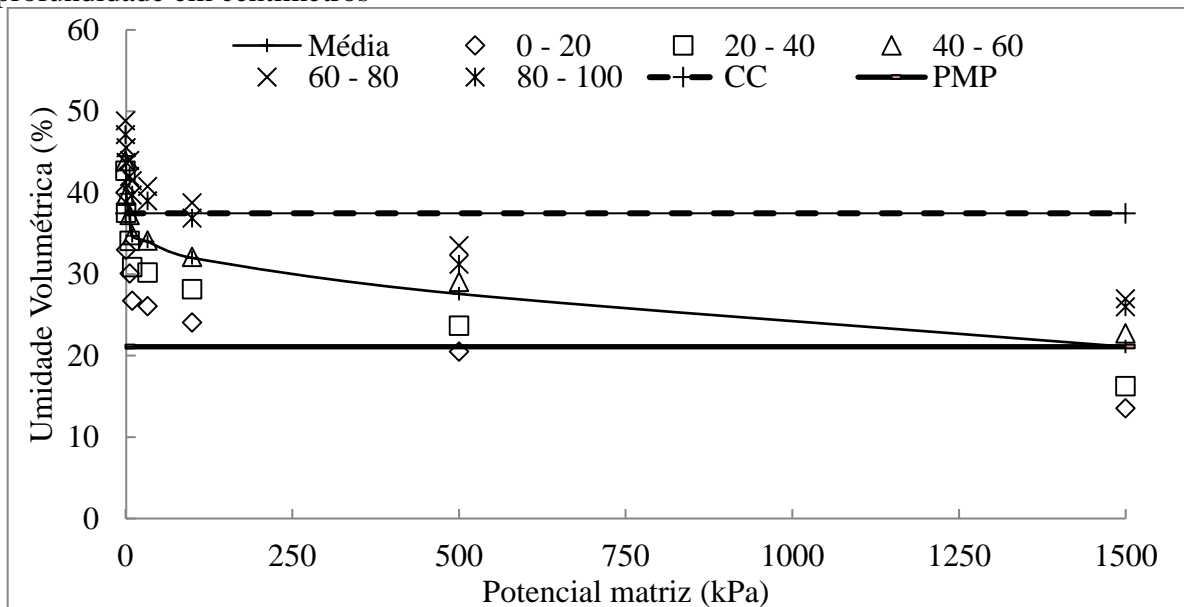


Figura 3.2.3b – Curva de retenção de água no solo (Politécnico UFSM), números indicam profundidade em centímetros



O conhecimento das constantes hídricas Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente e Densidade do Solo, permitem calcular a disponibilidade total de água no solo (DTA) em cada profundidade do solo e, com esta, pode-se determinar a quantidade de água total no solo disponível às plantas. Considerou-se como Capacidade de Campo (CC) a umidade do solo na tensão de -33 kPa e, para determinação do Ponto de Murcha Permanente

(PMP) a umidade volumétrica na tensão de -1500 kpa. Os dados de planta utilizados foram: profundidade do sistema radicular de 0,5 m e fator de depleção de água no solo 0,60, dados obtidos no manual da FAO, para 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 (k_c) igual a 1,00 (ALLEN et al., 2006), sendo a Evapotranspiração máxima (ET_m) de 5,55 mm.dia⁻¹. De posse da Capacidade Real de Água no solo (CRA) e do consumo hídrico das plantas obtém-se o Turno de Rega entre as irrigações (TR), o qual pode ser observado na Tabela 3.2.3b.

Tabela 3.2.3b – 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), Coeficiente de cultivo (K_c), Evapotranspiração da Cultura (ET_c), Turno de Rega (TR)

Profundidade	DTA	CTA	f	CRA	IRN	IRN Total	ET_o	K_c	ET_c	TR
Centímetro	mm/cm	mm		mm	mm	mm	mm		mm	dias
Solo Fazenda Liberdade - Latossolo Vermelho distrófico típico										
0 20	1,4	27,6		16,6	16,6					
20 40	1,3	25,2	0,60	15,1	15,1	38,9	5,55	1,00	5,55	7,0
40 50	1,2	11,9		7,1	7,1					
Solo Politécnico Santa Maria - Argissolo Vermelho distrófico típico										
0 20	1,3	25,0		15,0	15,0					
20 40	1,4	27,9	0,60	16,7	16,7	38,6	5,55	1,00	5,55	7,0
40 50	1,1	11,4		6,8	6,8					

Comparando os TR encontrados observa-se que os mesmos são semelhantes, o que possibilita projeção de sistemas de irrigação iguais.

3.2.3.1 *Volume de infiltração e velocidade de infiltração básica*

Para cálculos de projetos de irrigação, a velocidade de infiltração de água no solo é fator limitante para a determinação da taxa de aplicação de água, uma vez que, se a taxa de aplicação de água do sistema de irrigação for superior à Velocidade Básica de Infiltração de água (VIB), irá ocorrer escoamento superficial, sendo parte da água aplicada perdida. O volume de água infiltrada em relação ao tempo foi determinado, utilizando-se um infiltrômetro de anéis concêntricos (KLEIN, 2014). Em quatro locais (repetições) no interior das áreas experimentais.

A velocidade de infiltração é obtida pela variação (diferença dos valores consecutivos) do volume de água infiltrada num 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 a metodologia de BERNARDO et al. (2006).

No experimento de Santiago a VIB observada foi de 9 mm h^{-1} , enquanto que em Santa Maria foi de 15 mm h^{-1} .

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram conduzidos em duas áreas experimentais, sendo que os delineamentos experimentais foram de blocos ao acaso com quatro repetições, constituído de seis lâminas de irrigação.

No experimento conduzido na Fazenda Liberdade as parcelas possuíam dimensões de $12 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, que corresponde a uma área de 48 m^2 . A área total para a realização do experimento, incluindo bordaduras foi de 7000 m^2 constituindo para este experimento 24 unidades experimentais. No experimento conduzido na área experimental do Colégio Politécnico da UFSM as parcelas possuíam dimensões de $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, que corresponde a uma área de 16 m^2 . A área total para a realização do experimento, incluindo bordaduras é de 3000 m^2 constituindo para este experimento 24 unidades experimentais.

3.4 IRRIGAÇÃO DA CULTURA

A aplicação da água de irrigação foi realizada com base na reposição da evapotranspiração de referência (ET_o), com turno de rega fixo de sete dias.

A irrigação foi realizada com sistema do tipo aspersão convencional. A aplicação de diferentes lâminas de irrigação foi possível devido à combinação entre os diferentes diâmetros dos bocais e a pressão de serviço disponível para os aspersores. Sendo previstas seis diferentes lâminas de irrigação suplementar 0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração de referência.

3.4.1 Quantidade de água aplicada na irrigação

Para a determinação da evapotranspiração de referência (ET_o), foi utilizada a equação de Penman-Monteith da FAO (ALLEN et al., 1998), cujos dados necessários foram obtidos através de estações meteorológicas automáticas localizadas. No primeiro experimento utilizou-se uma estação meteorológica localizada a aproximadamente 200 metros da área experimental (Santiago, RS) e, no segundo experimento, foi utilizada a estação meteorológica “RS - Santa Maria”, afiliada ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada aproximadamente a 2000 metros da área experimental. Em ambas foram obtidos, em escala diária, os elementos climáticos necessários para o cálculo da E_{to} pelo método de Penman-Monteith: a precipitação pluvial (mm), temperatura (°C), a umidade relativa do ar (%), a radiação solar ($W\ m^{-2}$) e a velocidade do vento ($m\ s^{-1}$).

Nos **APÊNDICES A e B** podem ser observadas as temperaturas máxima e mínima, em escala diária para os períodos dos experimentos, nas regiões de Santiago e Santa Maria, respectivamente.

Nos **APÊNDICES C e D** podem ser observadas as umidades relativas do ar, em escala diária, para os períodos dos experimentos, nas regiões de Santiago e Santa Maria, respectivamente.

Nos **APÊNDICES E e F** podem ser observadas as velocidades do vento, em escala diária, para os períodos dos experimentos, nas regiões de Santiago e Santa Maria, respectivamente.

Nos **APÊNDICES G e H** podem ser observadas as radiações solares, em escala diária, para os períodos dos experimentos, nas regiões de Santiago e Santa Maria, respectivamente.

Considerando que a aplicação de água para a cultura é proveniente da precipitação e da irrigação, faz-se necessário descontar do volume total a ser aplicado na irrigação o valor referente à precipitação pluvial efetiva (P_e) ocorrida no período entre duas irrigações consecutivas.

Para calcular o volume (quantidade ou lâmina) de água fornecida por irrigação foi utilizada a seguinte equação:

$$V_i = E_{To} - P_e \quad (3.4.1)$$

onde, V_i é o Volume ou lâmina de irrigação (mm), E_{To} é a evapotranspiração de referência (mm) e P_e é a precipitação pluvial efetiva (mm).

A precipitação efetiva foi calculada de acordo com o coeficiente de escoamento superficial “C” proposto por Millar (1974), o qual leva em consideração a classe textural, a declividade da área (%) e a cobertura vegetal. Para as condições de estudo, foram considerados solos francos, com declividades de 0 – 5 %, e cultivado com pastagens, obtendo-se escoamento superficial de 30 %, nas duas áreas experimentais.

3.4.2 Controle da aplicação da água de irrigação

O tempo de irrigação para aplicação da lâmina de irrigação tomou com base a lâmina de 100 % da E_{To} (Lâmina de referência), quando a quantidade em milímetros necessária para o período é proporcional à cada tratamento.

$$TI = LN / TA \quad (3.4.2)$$

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);

As taxas de aplicação de água dos sistemas de irrigação foram determinadas após a instalação dos sistemas de irrigação nos locais dos experimentos, com a realização do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), quando foram observados CUC de 87 % e 90 % para os sistemas de irrigação de Santiago e Santa Maria, respectivamente.

A eficiência de aplicação, nesse estudo foi adotada igual a 100 % devido à taxa de aplicação ter sido determinada em condições de campo, durante a determinação do CUC. Para a determinação da intensidade de aplicação de água, o sistema foi acionado durante uma hora, sendo a chuva artificial recolhida por pluviômetros dispostos em toda a área, chegando taxas

aplicação de 4,7 mm h⁻¹ e 14,7 mm h⁻¹, para os sistemas de irrigação de Santiago e Santa Maria, respectivamente.

3.5 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os experimentos foram conduzidos com a cultura do milho (cultivar ADR500) sendo semeados nos meses de novembro de 2014 e 2015, respectivamente, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 36 cm entre linhas, com aproximadamente 20 – 25 sementes por metro linear e profundidade de semeadura de 3 cm, conforme recomendado pelos fornecedores de sementes.

Após as semeaduras, as forrageiras foram submetidas a cortes de uniformização realizados a 15 cm de altura em relação ao solo. O primeiro corte foi realizado 50 dias após a semeadura, já os próximos cortes, realizados com 30 dias de intervalo. Após cada corte foi realizada a aplicação de uréia, como recomendado pela SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO NÚCLEO REGIONAL SUL (2004), no Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

Durante a condução dos experimentos, foram realizadas aplicações de produtos fitossanitários para que a cultura se mantivesse livre de pragas, as quais poderiam criar problemas no período experimental.

3.5.1 Produção de massa seca

Durante a condução dos experimentos foram realizadas avaliações da produção de massa seca (MS) da cultura de milho (Produção de forragem). Quando foram coletados 0,5 metro linear de plantas na altura de 15 cm em relação ao solo, nas épocas correspondentes a 50 (primeiro corte), 80 (segundo corte), 110 (terceiro corte), 140 (quarto e último corte) dias após a semeadura (DAS).

As amostras para essa determinação foram levadas para o laboratório onde foram separadas manualmente em três frações: folha (MSf - lâmina foliar), colmo (MSc - bainha da folha + colmo) e material morto.

As três frações das amostras foram mantidas por 72 horas, ou até peso constante, em estufa com circulação forçada de ar a 65°C. Após a secagem do material foi feita a

determinação da massa seca em balança de precisão. Com a soma das três frações obteve-se a produção de forragem massa seca total (MS).

3.5.2 Análise e interpretação dos dados

Os valores acumulados de MS de forragem foram avaliados estatisticamente através da utilização do software SISVAR for Windows Versão 9.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa - MG (FERREIRA, 1988) Quando a análise apontou efeito significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro, os resultados foram submetidos à análise de regressão.

3.6 ESTIMATIVA DE GANHO DE PESO ANIMAL

Com as expectativas de rendimento forrageiro da cultura do milho (kg de MS ha⁻¹) foi realizada a estimativa de ganho animal, através da conversão teórica em produto animal, ou seja, em quilogramas de peso vivo (kg de PV). Foi atribuída uma oferta de forragem de 4 % e simulado ganho médio diário de 1,00 kg.animal⁻¹ dia⁻¹. Considerando a massa seca produzida (kg ha⁻¹) dividida pelos 90 dias de pastejo, obteve-se a quantidade de massa seca possível de ser ofertada por dia aos animais.

Com a oferta de forragem de 4 % (4kg de MS, para cada 100 kg de peso animal) e, considerando o peso dos animais de 300 kg de PV, obteve-se a quantidade de animais possível por dia por unidade de área (UA ha⁻¹ dia⁻¹). Quando para cada UA, para uma oferta de 4 % serão necessários 12 kg de MS dia⁻¹.

Com o número de animais possíveis por unidade de área foi obtido o ganho animal, considerando que cada animal pode obter ganho médio diário de 1,00 kg de PV dia⁻¹.

Tais expectativas de rendimento animal, multiplicadas pelo número de dias em que a forrageira é ofertada (90 dias) proporcionam o ganho de peso vivo por animal, por unidade de área no período. Obtendo-se as expectativas de rendimento para os três ganhos médios diários simulados e, com o ganho de peso vivo por animal por hectare multiplicado pelo número de animais por hectare, no período, foram obtidos os ganhos de peso vivo por hectare ou produtividade (kg⁻¹.ha⁻¹).

Para as estimativas foram considerados fixos os valores de:

- Oferta de forragem (OF) em 4 % (4 kg de MS, para cada 100 kg de PV), conforme sugerido por Heringer e Carvalho (2002);
- Duração do período de oferta (Pd) em 90 dias, conforme período de produção da forrageira;
- Peso vivo dos animais (PV) em 300 kg de PV;
- Ganho médio diário (GMD) em 1 kg de PV ha⁻¹ dia⁻¹, conforme referenciado por Glienke (2012) e Pacheco et al. (2014).

3.7 PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA ÁGUA APLICADA

Conforme Frizzone e Andrade Júnior (2005) a função de produção foi obtida através da análise de regressão do tipo polinomial do segundo grau (Equação 3.7) entre a variável dependente, produtividade e a variável independente, a lâmina de irrigação.

$$Y = a + bX + cX^2 \quad (3.7)$$

onde, Y é a produção de massa seca (kg de MS ha⁻¹), X é a lâmina de irrigação (mm) e “a”, “b” e “c” são parâmetros da equação.

3.7.1 Máxima eficiência técnica (MET) e econômica (MEE)

Para a obtenção da lâmina de irrigação que corresponda à máxima produção, determinou-se a raiz da derivada primeira da Equação 3.7, ou seja, é a solução de um problema conhecido como determinação da máxima eficiência técnica (MET), sendo as Equações 3.7.1a e 3.7.1b:

$$dY/dX = b + 2cX \quad (3.7.1a)$$

e

$$X_{met} = -0.5b/c \quad (3.7.1b)$$

onde, X_{met} – lâmina que resulta na máxima produtividade física (mm).

3.8 ANÁLISE DA VIABILIDADE DO INVESTIMENTO

A análise da viabilidade da produção de forragem de milho irrigada foi realizada com a comparação das relações benefício-custo da produção não irrigada e irrigada de cinco safras agrícolas (2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017), nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul. Foram realizadas as conversões da produção de forragem de milho em quilogramas de peso vivo animal e as estimativas de custos com base na demanda hídrica de cada safra.

Para a determinação da viabilidade econômica de um sistema produtivo é necessário que o produto final seja dotado de valor econômico, o qual em um sistema pecuário é o quilograma de PV animal. Foram estimados ganhos de peso vivo animal (GPV – Kg de PV ha^{-1}) com a conversão teórica de massa seca de forragem em PV animal. Utilizou-se os rendimentos forrageiros obtidos nas safras agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016, nos municípios de Santiago e Santa Maria, RS, respectivamente, para as lâminas de reposição de 0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETo.

As receitas brutas foram obtidas com os GPV multiplicados pelo preço médio do quilograma animal. Considerando, neste trabalho, o valor médio de R\$ 5,00 kg^{-1} de PV (peso vivo) conforme valores médios observados na região durante o ano de 2017 (SANTA RITA REMATES, 2017).

3.8.1 Custos de produção e retorno econômico

O estudo dos custos foi realizado considerando os custos fixos e variáveis constituintes do sistema de produção de forragem, podendo estes ser relacionados e não relacionados à irrigação, conforme funções de benefício líquido ao irrigante utilizadas por Martin et al, (1989), Broner e Lambert (1989), Mannocchi e Mecarelli (1994), Frizzone e Andrade Junior (2005) e Santos Junior et al, (2015).

O custo fixo não relacionado à irrigação (CFNRI) foi de R\$ 2.000,00 $ano^{-1} ha^{-1}$, construído de todas as operações e insumos necessários (número de horas-máquina, diárias de trator, número de horas homens, preparo de solo, sementes, semeadura, herbicidas, pesticidas e terra), conforme a metodologia proposta pela CONAB (2010).

Os custos relacionados à irrigação foram divididos em custos fixos (CFRI) e custos variáveis da irrigação (CVRI) conforme a metodologia proposta pela CONAB (2010). Para determiná-los foi projetado um sistema de irrigação por aspersão convencional, conforme metodologia proposta por Biscaro (2009).

Considerou-se, para a projeção do sistema de irrigação, valores fixos de: altura geométrica de sucção 5m; altura geométrica de recalque 15m; desnível da linha principal e das linhas laterais 2m; altura das elevações dos aspersores de 2m, comprimento da tubulação de recalque de 100 metros, comprimento da tubulação de sucção de 10 metros. Considerou-se como área total irrigada, a distância entre os aspersores que se encontram na extremidade da área, mais duas vezes 60 % do alcance dos aspersores, resultando em uma área de 1,28 ha, sendo os valores obtidos no projeto corrigidos para uma unidade de área (1 ha), sendo o espaçamento 24 x 24 (24 metros entre linhas e 24 metros entre aspersores).

Os CFRI foram calculados com a equação proposta por CONAB, (2010), considerando o custo com a depreciação dos componentes do sistema (CD), o custo com juro sobre o capital investido (CJ) e o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação (CSe). Os preços dos componentes foram obtidos de equipamentos existentes na região, sendo as tubulações de PVC Azul (para irrigação), com os diâmetros comerciais encontrados e pressão nominal de serviço menor possível para cada setor (linhas laterais, principal, recalque e sucção). Para um mesmo setor foi selecionado apenas um diâmetro comercial. O controle das laterais em operação foi por meio de registros de esfera.

O valor residual ou de sucata foi calculado como 20 % do valor de compra de cada componente do sistema. A vida útil utilizada foi de 20 anos. Os valores de CJ foram calculados considerando-se a taxa de remuneração de 6,0 % ao ano, aplicados sobre o valor médio dos equipamentos. Os valores de CSe foram determinado como sendo 0,35 % do valor médio do bem novo (CONAB, 2010).

Os valores de CVRI foram obtidos pelo custo de aplicação da lâmina de irrigação, em energia (CvE), da mão-de-obra empregada (CvMo) e da manutenção do sistema (CvMan), conforme CONAB (2010).

O CvE foi calculado considerando a potência do conjunto motobomba e o tempo para aplicação da lâmina de irrigação (Li). A potência necessária para aplicação de um milímetro de água via irrigação foi calculada com os dados do projeto para um hectare. O valor da energia utilizado foi de 0,32 R\$ kW h-1, considerando o preço na tarifa verde estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (RIO GRANDE ENERGIA, 2017).

O CvMo foi calculado utilizando o tempo proposto de 0,5 horas por hectare em cada setor do sistema e por irrigação (MAROUELLI e SILVA, 2011), considerando o valor da hora trabalhada equivalente ao salário mínimo rural, conforme CONAB (2010). O número de irrigações (Ni) foi determinado com a observação das séries históricas, para cada safra agrícola e local de estudo. O número de setores do sistema de irrigação foi de 6 (seis), determinado na confecção do projeto. O valor do salário mínimo rural utilizado neste trabalho foi de R\$ 1.175,15 (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

Os CvMan foram calculados sobre 1 % do valor do sistema de irrigação (novo), acrescido de 10 % do valor gasto com energia conforme sugerido pela CONAB, (2010).

Considerando que ainda não existe a cobrança pela uso da água, na região do estudo, o valor da água não foi considerado neste trabalho. Também não foi considerado o valor de armazenamento.

O retorno líquido (RL), nos diferentes cenários testados (sem irrigação e irrigado com 25, 50,75, 100 e 125 % da ETo) foi obtido através da seguinte equação:

$$RL = RB - CNRI - CFRI - CVRI \quad (3.8.1)$$

onde, RL é o retorno líquido ao produtor irrigante (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).

3.8.1.1 Determinação da demanda hídrica.

Para a obtenção dos CVRI são necessárias determinações das lâminas de irrigação (Li) e do número de irrigações (Ni) requeridas ao longo dos ciclos da forrageira. Foram realizadas através do balanço de entradas e saídas de água, considerando como entradas as precipitações efetivas (Pe) e como saídas os valores de evapotranspiração de referência (Eto), ambos em escala diária. Considerou-se como necessidade hídrica da cultura a diferença entre Eto e Pe, obtida em períodos semanais (7 dias). Para a determinação da Pe foi utilizado o coeficiente de escoamento de 0,30, proposto por Millar (1974), sendo considerada Pe de 70 % da precipitação total no período.

Foram utilizadas as séries históricas das estações meteorológicas pertencentes à rede nacional de monitoramento climático, obtidas junto ao INMet, para os municípios de Santiago

e Santa Maria, no período de 2012-2017, sendo o período de início das safras na data de 15 de novembro e a duração de 140 dias. A ETo foi obtida, para cada dia, com a utilização da equação de Penman-Monteith, conforme Allen et al., (1998).

Nas datas em que houveram falhas (ausência de dados), para cálculo da ETo foram simulados dados aleatórios, considerando a média diária estimada pela equação $Y=a+b.\text{sen}(2.\pi.X/d+c)$ onde Y é a ETo em milímetros, X é o dia juliano e a, b, c e d são parâmetros da equação, sendo acrescida ou diminuída de um valor aleatório menor ou igual ao desvio padrão, diário das séries, estimado pela equação quadrática $Y=a+b.X+c.X^2$, obtida com os valores de desvio padrão dos dados diários.

3.9 PRODUTIVIDADE DA ÁGUA

Para quantificar os benefícios econômicos da irrigação foi quantificada a produtividade da água, sendo a produtividade de forragem (kg de MS ha⁻¹) dividida pela água aplicada (m³).

A análise da viabilidade do investimento foi determinada através da relação benefício-custo (B/C), onde os possíveis retornos econômicos foram divididos pelos custos de produção.

4 ARTIGO 1 – FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DA ÁGUA EM FORRAGEM DE MILHETO IRRIGADA

Função de produção e produtividade da água em forragem de milheto irrigada

The production function and productivity of water in grass irrigated millet

Resumo

A determinação da função de produção água-cultura é imprescindível para o correto dimensionamento e manejo de sistemas agropecuários irrigados. São objetivos deste trabalho a identificação da função de produção de forragem de milheto em relação às lâminas aplicadas e a determinação da produtividade da água. Foram realizados dois experimentos com a cultura do milheto, semeados na safra agrícola 2014/2015, em Santiago, RS, e na safra 2015/2016, em Santa Maria, RS. O delineamento experimental foi organizado em blocos ao acaso com quatro repetições e seis lâminas de irrigação. Foi avaliada a produção de massa seca total, acumulada de forragem, sendo as coletas aos 50, 80, 110 e 140 dias após a semeadura e, foi determinada a produtividade da água. Observou-se efeito significativo para a produção de forragem de milheto (kg de MS ha^{-1}) nas duas safras agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, ajustando-se equação quadrática. A máxima eficiência técnica entre os tratamentos foi encontrada, para as duas safras, na lâmina 125 % da ETo, com produção de forragem de 15.494,47 kg ha^{-1} e 14.779,50 kg ha^{-1} . A produtividade da água não foi diferente para os distintos tratamentos, com médias de 1,86 e 1,69 kg de MS m^{-3} de H_2O nas safras de 2014/2015 e 2015/2016, respectivamente. A dinâmica de produção de massa seca acumulada, para a equação logística obtida com a média das duas safras, apresenta desempenho “Excelente” as produções de forragem acumuladas das duas safras agrícolas. A produção de forragem de milheto é suscetível a déficits hídricos, sendo a lâmina de 125 % a que apresentou maior produção de MS nas duas safras agrícolas. As lâminas de irrigação não influenciaram na produtividade da água.

Palavras chaves: Produção de forragem, lâminas de irrigação, *Pennisetum americanum* L.

Abstract

The determination of the water-crop production function is essential for the correct design and management of irrigated agricultural systems. The objectives of this work are the identification of the function of millet forage production in relation to the applied levels and the determination of the water productivity. Two experiments were carried out with the millet crop, sown in the 2014/2015 agricultural harvest in Santiago, RS, and in the 2015/2016 crop, in Santa Maria, RS. The experimental design was organized in randomized blocks with four replicates and six irrigation levels. The total dry mass accumulated forage production was evaluated, and the samples were collected at 50, 80, 110 and 140 days after sowing, and the water productivity was determined. A significant effect was observed

for the production of millet fodder (kg DM ha^{-1}) in the two agricultural seasons 2014/2015 and 2015/2016, adjusting the quadratic equation. The maximum technical efficiency between the treatments was found for 125 % of the ETo for the two harvests, with forage production of 15,494.47 kg ha^{-1} and 14,779.50 kg ha^{-1} . The water productivity was not different for the different treatments, with averages of 1.86 and 1.69 kg of DM m^{-3} of H₂O in the 2014/2015 and 2015/2016 harvests, respectively. The accumulated dry mass production dynamics for the logistic equation obtained with the average of the two harvests presents an "Excellent" performance of the accumulated forage production of the two agricultural crops. The production of millet fodder is susceptible to water deficits, with 125 % showing the highest DM production in the two agricultural crops. Irrigation levels did not influence water productivity.

Key Words: Forage production, irrigation levels, *Pennisetum americanum* L.

Introdução

A variabilidade interanual do clima, em especial da precipitação, causa redução na produção e qualidade das culturas forrageiras (BANDINELLI et al., 2003). Os déficits hídricos provocam reduções proporcionais à sua intensidade e duração, reduzindo de forma expressiva a produtividade de sistemas agropecuários (RAY et al., 2015; VIVAN et al., 2015; PEREIRA et al., 2017). A irrigação é uma ferramenta que visa mitigar os efeitos da escassez hídrica e garantir altos rendimentos de forrageiras (OLIVEIRA et al., 2015; KIRCHNER et al., 2017; KOETZ et al., 2017).

Conforme Vital et al. (2015) e Orth et al. (2012), diversas espécies forrageiras tropicais são utilizadas no território brasileiro, destacando-se o milheto (*Pennisetum americanum* L.), gramínea com alto potencial forrageiro, alcançando 20 ton de MS ha^{-1} , e considerável resistência á escassez hídrica (PEREIRA FILHO, 2016). A irrigação aumenta o teor de água no solo, proporcionando aumento da produção de massa seca da forrageira (SINGH e SINGH, 1995; SILVA et al., 2006). Outro aspecto positivo é a melhora na distribuição de forragem ao longo do ano, permitindo melhor planejamento dos sistemas de produção e maior ganho por área (OLIVEIRA, 2016).

A resposta das culturas a diferentes níveis de água é importante para a definição do manejo de irrigação que visa melhorar o uso da água, podendo a irrigação deficitária ser uma boa estratégia para aumentar a eficiência (KRESOVIC et al., 2016; CHILUNDO et al., 2016). É necessário determinar as consequências das variações das precipitações no rendimento forrageiro ocasionado pelas alterações climáticas (GRANT et al., 2014). A quantificação desta resposta é possível através do método do balanço hídrico (PEREIRA et al., 2017), o qual considera as entradas e saídas de água até a profundidade do sistema radicular e durante o período de cultivo (LIBARDI, 2005). O procedimento FAO-56 baseia-se na evapotranspiração de referência de uma superfície gramada (ETo), que pode ser estimada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Para a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc), considera-se o coeficiente de cultivo (Kc) e a influência da

quantidade de água pelo coeficiente de umidade do solo (K_s) (BERNARDO, 2006).

Segundo Bartero et al. (2013), vários experimentos com plantas forrageiras já foram realizados para avaliar parâmetros como massa seca, porém não exploram os dados para explicar o crescimento das plantas. O processo de crescimento ou desenvolvimento de plantas é caracterizado por uma fase de rápido crescimento, seguido de uma estabilização e pode ser bem representado pela função logística (REGAZZI, 2003). A resposta de plantas a doses de determinado insumo não é diferente, uma vez que há uma tendência de estabilização na produção, quando o insumo é ofertado em doses altas, tendendo ao excesso.

Considerando o exposto, este trabalho tem por objetivos a identificação da função de produção de forragem de milheto em resposta às lâminas aplicadas e a determinação da produtividade da água.

Material e Métodos

Foram realizados dois experimentos para obtenção da função de produção da água em forragem de milheto, sendo o primeiro na safra agrícola 2014/2015, na área experimental da Fazenda Liberdade em Santiago, RS e o segundo na safra 2015/2016, na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS. O clima da região dos experimentos é temperado, com característica subtropical e inverno marcante. Conforme a classificação de Köppen-Geiger é do tipo Cfa (Clima subtropical úmido) (MORENO, 1961). Os solos das áreas experimentais são classificados como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Unidade de Mapeamento Cruz Alta) e Argissolo Vermelho Distrófico típico (Unidade de Mapeamento São Pedro), respectivamente, segundo Streck et al. (2008).

Foram realizadas as caracterizações físico-hídricas dos solos das duas áreas experimentais, conforme as metodologias propostas pela EMBRAPA (2011). Observou-se que a capacidade total de água no solo até a profundidade de 0,50 m foi de 80,0 mm (Unidade Cruz Alta) e 83,3 mm (Unidade São Pedro), o que indica que os solos possuem semelhança quanto à quantidade de água disponível às plantas.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Constituído de seis lâminas de irrigação (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração de referência - ET_0), determinadas com a equação de Penman-Monteith da FAO (ALLEN et al., 1998), cujos dados necessários foram obtidos através de estações meteorológicas automáticas localizadas próximas aos experimentos. As precipitações efetivas obtidas nos períodos de condução da cultura foram comparadas com as precipitações efetivas das normais climatológicas, obtidas nas estações de São Luiz Gonzaga e Santa Maria do INMET.

O turno de rega adotado foi fixo de sete dias, sendo a lâmina calculada pela diferença entre a soma das evapotranspirações de referência e a soma das precipitações efetivas do período. As precipitações efetivas foram calculadas de acordo com o coeficiente de escoamento superficial

proposto por Millar (1974), o qual, para as duas áreas experimentais foi de 70 %.

Os balanços de água nos solos foram obtidos considerando-se, em escala diária, as entradas (precipitação e irrigação) e saídas (chuva escoada, drenagem profunda e evapotranspirações da cultura) até a profundidade do sistema radicular de 0,5 m e período de cultivo de 140 dias. Para o cálculo das evapotranspirações da cultura (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETc) foi multiplicada a evapotranspiração de referência (ETo) pelos coeficientes de cultivo (Kc) (ALLEN et al., 1998) e de umidade do solo (Ks) (BERNARDO, 2006). Como dados de entrada, considerou-se a precipitação efetiva, sendo a precipitação pluvial descontada do escoamento superficial e as irrigações de cada um dos tratamentos experimentais. A chuva escoada foi calculada como sendo a diferença entre a precipitação total e a precipitação efetiva. A drenagem profunda foi obtida com a diferença da precipitação efetiva e a água possível de ser armazenada no dia (diferença entre a umidade em capacidade de campo e umidade calculada no balanço hídrico).

Os experimentos foram constituídos de 24 unidades experimentais (UE). As parcelas experimentais, de dimensões de 4 m x 4 m, que corresponde a uma área de 16 m², mais as bordaduras. A aplicação de água foi realizada via sistemas de irrigação por aspersão, e a lâmina aplicada foi controlada com a abertura e fechamento das linhas de irrigação.

A cultura do milheto (cultivar ADR500) foi semeada nos meses de novembro de 2014 e de 2015, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,36 m entre linhas, com aproximadamente 10 a 15 kg ha⁻¹ de sementes e profundidade de semeadura de 3 cm, conforme recomendado pelos fornecedores de sementes (GONTIJO NETO, 2006). A adubação foi realizada para expectativas de rendimento de forragem de 20.000 kg ha⁻¹ de massa seca (MS), 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 - CQFS RS/SC, 2004). A cultura foi conduzida com cortes de uniformização aos 50, 80, 110 dias após a semeadura. Os cortes foram realizados a 0,15m de altura em relação ao solo e, após cada corte, foi realizada a adubação de cobertura com a aplicação de nitrogênio na forma de uréia.

Para avaliar a produção de forragem da cultura de milheto, foram coletados 0,5 m linear ao longo da linha de plantas, na altura de 0,15 m em relação ao solo, nas épocas correspondentes a 50 (primeiro corte), 80 (segundo corte), 110 (terceiro corte), 140 (quarto e último corte) dias após a semeadura (DAS). As amostras foram levadas para laboratório, onde foram mantidas por 72 horas ou até peso constante, em estufa com circulação forçada de ar a 65°C. Após a secagem do material (MS) foi feita a determinação da massa seca em balança de precisão. Os valores obtidos nos cortes foram extrapolados para hectare. Para encontrar a produtividade da água (kg de MS m⁻³) as produções de MS foram divididas pelo volume de água aplicado (extrapolado para hectare). Os resultados foram avaliados estatisticamente através da utilização do software SISVAR (FERREIRA, 1988), em nível de 5 % de probabilidade de erro e submetidos à análise de regressão.

Com o intuito de se obter a curva de crescimento da cultura, aos dados de produção de forragem acumulada, onde foi encontrada a máxima eficiência técnica entre os tratamentos (MET), para as duas safras agrícolas (125 % ETo - 2014/2015 e 125 % ETo - 2015/2016) e da média das duas safras (Média 125 % ETo - 2014/2015 e 2015/2016), foi ajustado o modelo logístico, descrito por Regazzi (2003), o qual é definido por $Y=a/(1+\exp(b-c.x))$, onde Y é a massa seca de forragem acumulada, X é a lâmina total (precipitação + Irrigação) e a, b e c são parâmetros de ajuste da equação. A qualidade de ajuste dos modelos foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2). As análises dos dados foram realizadas com a utilização do programa computacional Table Curve 2D v. 2.03 (Jandel Scientific).

Avaliou-se a equação ajustada (Média 125 % ETo - 2014/2015 e 2015/2016) através de uma regressão linear $y = a + bx$, na qual a variável dependente foi a produção de massa seca acumulada de forragem dos tratamentos (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETo) das duas safras agrícolas (2014/2015 e 2015/2016) e a variável independente, a produção de massa seca acumulada de forragem estimada pela equação.

A exatidão foi determinada pelo índice de concordância (Ic) proposto por Willmott (1981). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a um, para a concordância perfeita. O índice de concordância (1) fornece o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas e pode ser calculado de acordo com a seguinte equação:

$$Ic = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (|Ei - O| + |Oi - O|)^2} \right] \quad (1)$$

em que, Ei são os valores estimados, Oi são os valores observados e O é a média dos valores observados.

O índice de precisão (Ip) (2), adaptado do Coeficiente de Correlação de Pearson, permite quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise (LIRA e NETO, 2006), e pode ser estimado por:

$$Ip = \frac{\sum_{i=1}^n (Ei - E)(Oi - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Ei - E)^2 \sum_{i=1}^n (Oi - O)^2}} \quad (2)$$

em que, Ei são os valores estimados, Oi os valores observados, E a média dos valores estimados e O a média dos valores observados.

A avaliação do desempenho das equações foi realizada através do índice de desempenho (Id) (3), adaptado de Camargo e Sentelhas (1997), cujo valor é o produto do índice de concordância (Ic) e do índice de precisão (Ip), expresso por:

$$Id = Ip \cdot Ic \quad (3)$$

O critério de interpretação do índice de desempenho e das respectivas classes de desempenho foi realizado de acordo com Pimenta (2017), que indica as seguintes classificações, para os respectivos intervalos de Índice de desempenho (Id): Péssimo entre 0,00 e 0,10; Muito ruim entre 0,10 e 0,20;

Ruim entre 0,20 e 0,30; Moderadamente ruim entre 0,30 e 0,40; Moderado entre 0,40 e 0,50; Moderadamente bom entre 0,50 e 0,60; Bom entre 0,60 e 0,70; Muito bom entre 0,70 e 0,80; Ótimo entre 0,80 e 0,90 e Excelente entre 0,90 e 1,00.

Resultados e discussão

Durante a condução dos experimentos, nas safras agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016 observou-se precipitações efetivas de 638,54 mm e 624,82 mm respectivamente. Precipitações estas que são superiores às normais climatológicas das regiões de estudo, uma vez que são de 465,3 mm e 426,7 mm. Tal fato indica que pode haver safras com menores volumes de chuva, o que causaria reduções na produtividade da forrageira.

As distribuições das precipitações durante os períodos de condução da cultura não foram homogêneas, com períodos de estiagem que demandaram irrigações (Figura 1). No experimento de 2014/2015 foram aplicados 141,37 mm de água no tratamento 100 % da ETo, os quais foram distribuídos em 7 (sete) eventos de irrigação, como pode ser observado. Já no experimento de 2015/2016 foram aplicados 117,46mm de água no tratamento 100 % da ETo, os quais foram distribuídos também em 7 (sete) eventos de irrigação. Tardin et al. (2013) atribuem ao estresse hídrico, ocasionado por períodos de estiagem, a queda de produtividade de forrageiras. Cunha et al. (2008) salientam que a evapotranspiração nas pastagens geralmente excede a precipitação pluvial efetiva em alguns períodos, demandando por irrigação para garantir altos índices de produtividade e rentabilidade.

Além da distribuição das precipitações, também podem ser observados os eventos de drenagem profunda e escoamento superficial, nos períodos de cultivo da forrageira, além das necessidades de irrigação (100 % ETo). Nas irrigações foram aplicadas as lâminas referentes aos tratamentos, resultando em diferentes umidades do solo e diferentes evapotranspirações da cultura (ETc), estas diferenças devem-se principalmente à variação da umidade do solo (Ks).

Observa-se que, logo após os eventos de irrigação, a quantidade de água no solo é maior para os tratamentos de maior lâmina. Já no tratamento testemunha, (Balanço 0 % ETc) onde não há a reposição de água via irrigação, a quantidade de água no solo aproxima-se do ponto de murcha permanente (PMP), fato que justifica as diferenças de produtividades encontradas entre os tratamentos. Segundo Allen et al. (1998) os limites de depleção de água no solo que ocasionam redução produtiva à forragem de milheto são de aproximadamente 60 % da água total disponível (diferença entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP)).

Em relação à produção de forragem de milheto (kg de MS.ha⁻¹) observou-se efeito significativo a nível de 5 % entre os tratamentos nas duas safras agrícolas 2014/2015 e 2015/2016. Ajustando-se equação quadrática (Figura 2) com coeficiente de determinação de 95,55 % e 93,13 %, respectivamente. A máxima eficiência técnica entre os tratamentos foi encontrada, para as duas safras,

na lâmina 125 % da ETo com produção de forragem de 15.494,47 kg ha⁻¹ e 14.779,50 kg ha⁻¹, produções estas superiores em relação ao tratamento testemunha em 28,75 % e 23,16 %, respectivamente. Produções semelhantes foram encontradas por Heringer e Moojen (2002), em Santa Maria, RS, quando avaliaram a influência de doses de nitrogênio na produção de milho, encontraram produções totais de forragem entre 8862 e 17403 kg ha⁻¹ de MS.

Dantas et al. (2016), em experimento analisando o comportamento da produtividade de matéria seca de forragem de *Brachiaria brizantha* em função das lâminas aplicada em quatro cortes da forrageira, no outono e no inverno, em Jaboticabal, SP, encontraram resposta quadrática, com coeficiente de determinação de 0,73 no outono e 0,94 no inverno, chegando a produtividades máximas de 2.359 kg ha⁻¹ e 1.756 kg ha⁻¹ nas lâminas de 267 e 269 mm, respectivamente.

Segundo Pereira Filho (2016), o milho possui resistência ao déficit hídrico, podendo completar seu ciclo com precipitações inferiores a 300 mm anuais. Porém, para que culturas agrícolas alcancem seus potenciais produtivos não pode existir escassez hídrica ou má distribuição das chuvas (VIVAN et al., 2015). Para Pimentel et al. (2016), a oferta de água é um fator determinante para o desenvolvimento de espécies forrageiras. Antoniel et al. (2016) dizem que o aumento da produção de massa seca em pastagens irrigadas é inquestionável.

Em relação à produtividade da água, não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos com médias de 1,86 e 1,69 kg de MS m⁻³ nas safras de 2014/2015 e 2015/2016, respectivamente. Porém, como pode ser observado na Tabela 1, nas duas safras agrícolas observou-se incremento de produtividade de 12,12 e 4,00 % nos tratamentos 100 % da ETo em relação aos tratamentos testemunhas (0 % ETo), indicando maior eficiência no uso da água (EUA) em ambas as safras agrícolas no tratamento 100 % da ETo.

Produtividades da água superiores foram encontrados por Melo (2006), quando em trabalho realizado com as culturas do sorgo e do milho, testando lâminas de irrigação (0, 25, 50, 75 e 100 % da capacidade de campo do solo), com experimento em vasos, obteve, aos 45 dias de crescimento das plantas, maior EUA para as lâminas 25, 50 e 75 % para as duas culturas. Sendo obtido para o milho 4,1 kg de MS m⁻³ na lâmina de 75 %, enquanto na lâmina de 100 % encontrou 2,7 kg de MS m⁻³.

Já Parizi et al. (2009) trabalhando com cinco estratégias de irrigação 0, 60, 80, 100 e 120 % da ETo, em Santiago-RS, com a cultura do milho, observaram os maiores valores de EUA 3,46 kg de MS m⁻³ no tratamento 100 % da ETo sendo menor na lâmina de 120 % da ETo com 3,0 kg de MS m⁻³, ou seja, há uma tendência de diminuição da eficiência do uso da água quanto maior for a lâmina aplicada.

Com as diferentes lâminas totais aplicadas (precipitação + irrigação), nos 140 dias de cultivo, observa-se que as variações no consumo hídrico diário são de 5,92 a 4,66 mm dia⁻¹ nas lâminas de 125 e 0 % da ETo, respectivamente, na safra 2014/2015 e 5,51 à 4,46 mm dia⁻¹ nas lâminas de 125 e 0 % da ETo, na safra 2015/2016. Lâminas superiores foram encontradas por Muller et al. (2002) quando

observaram consumo máximo de 8 mm.dia⁻¹, aproximadamente, na produção de forragem de capim Mombaça em São Desiderio, BA.

Na Figura 3 podem ser observados os comportamentos das curvas de acúmulo de MS ha⁻¹, em relação à lâmina total aplicada e na Tabela 2 os parâmetros de ajuste das equações (a, b e c), bem como seus limites superiores e inferiores e os coeficientes de determinação (R²).

A dinâmica de produção de massa seca acumulada nos tratamentos onde foi obtida a MET (125 % ETo), quando observa-se os limites superiores e inferiores do intervalo de confiança (Tabela 2) alcançou valores superiores para a safra de 2014/2015 em relação à safra agrícola de 2015/2016, ou seja, o limite superior da safra 2015/2016 não está contido no intervalo de confiança da safra 2014/2015. Porém, não foi encontrada diferença significativa para a equação obtida com a média das duas safras em relação às safras de 2014/2015 e 2015/2016, estando os limites dos parâmetros “a” contidos no intervalo de confiança da equação “média das duas safras”. Observando o parâmetro “c”, as equações possuem similaridade quanto ao acúmulo de massa seca em relação à lâmina aplicada, sendo que os limites do parâmetro de todas as equações estão contidos no intervalo de confiança das mesmas.

Muller et al. (2002) também utilizaram modelo não-linear para explicar a função de produção de lâminas de irrigação diárias, em massa seca de forragem do capim Mombaça, em um intervalo de 30 dias, quando encontraram produção de 5.800 kg ha⁻¹, com consumo de 8 mm.dia⁻¹, aproximadamente. Os autores indicam que o modelo pode ser utilizado para a previsão da produção.

Na Figura 4 observa-se o comportamento da reta obtida com as médias estimadas pela equação (Média 125 % ETo - 2014/2015 e 2015/2016) e as médias observadas nos experimentos de campo (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETo das duas safras agrícolas), com coeficiente de determinação (R²) de 92,13 % e coeficiente angular (b) de 0,97, também pode-se visualizar a reta (1:1). Observou-se que o índice de desempenho do modelo logístico ajustado foi de 0,931, sendo classificado como “Excelente”, indicando que o modelo pode ser utilizado para estimar as produções acumuladas de forragem de milho em relação à lâmina total aplicada (precipitação + irrigação), com elevada precisão.

Dourado Neto et al. (2005) observaram precisão na estimativa do acúmulo de matéria seca, de diversos órgãos da parte aérea das plantas de milho, e também para prever o rendimento de grãos, com a utilização de modelos matemáticos-fisiológicos. Esses resultados são semelhantes aos de Gomes et al. (2014) que, na mesma região deste estudo, propuseram modelos matemáticos para a simulação de rendimento de massa seca de soja, obtendo classificação inferior ao encontrado nesse estudo e de grãos de soja, obtendo igual classificação.

Conclusões

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, pode-se concluir que:

- A produção de forragem de milho é suscetível a déficits hídricos, sendo a lâmina de 125 % da evapotranspiração de referência, a mais produtiva nas duas safras agrícolas;
- As lâminas de irrigação não influenciaram na produtividade da água;
- A equação logística ajustada (Média 125 % ETo - 2014/2015 e 2015/2016) pode ser utilizada para estimar a produção de forragem de milho com elevada precisão.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, pelo apoio técnico e financeiro. Às agências de fomento CAPES e CNPq, pelas bolsas de estudo. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, pelo fomento recebido.

Referências Bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH M. *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).
- ANTONIEL, L. S.; PRADO, G. do; ROCHA, T.; BOMBARDELLI, W. W. A.; BELTRAME, G. A.; BUENO, J. I. Irrigação no teor de proteína bruta de duas espécies de pastagens. *Irriga*. Botucatu, ed. especial, Grandes Culturas, v. 1, n. 1 p. 248-259, 2016. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1963/1444>>. Acessado em: 27, set, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p248-259>.
- BANDINELLI, D. G.; de QUADROS, F. L. F.; GONÇALVES, E. N.; da ROCHA M. G. 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. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v33n1/14145.pdf>> Acessado em: 22, set, 2017.
- BARTERO, L. M.; PRADO, T. F.; BASSO, K. L.; LIMA, L. A.; MOTTA, K. M.; KRUGER, B. C.; MARTINS NETO, L. R.; da SILVA, G. A. S. Análise de crescimento em plantas forrageiras aplicada ao manejo de pastagens. *Veterinária Notícias*. Uberlândia, v.19, n.2, p.71-85, jul./dez. 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/vetnot/article/view/23542>> Acessado em: 21, set., 2017.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de Irrigação*. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

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*. 10. ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400 p.

CUNHA, F. F da; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, O. G.; ABREU, F. V. de S. Produtividade do capim Tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Maringá, v. 30, n. 1, p. 103-108, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asagr/v30n1/v30n1a15.pdf>>. Acessado em: 27, set, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1140>.

CHILUNDO, M.; JOEL, A.; WESSTROM, I.; BRITO, R.; MESSING, I. Effects of reduced irrigation dose and slow release fertiliser on nitrogen use efficiency and crop yield in a semi-arid loamy sand. *Agricultural Water Management*. p. 68-77. Fev. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377416300415?via%3Dihub>> Acessado em: 14, jul., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.004>.

DANTAS, G de F.; de FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F. Produtividade e qualidade da brachiaria irrigada no outono/inverno. *Engenharia Agrícola*. Jaboticabal. v. 36, n. 3, p. 469-481, mai./jun. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162016000300469&lng=pt&tlng=pt>. Acessado em: 26, set., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p469-481/2016>.

DOURADO NETO, D.; NASS, L. .; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; PILAU, F. G.; OHSE, S.; BONNECARRERE, R. A. G. Modelos matemáticos-fisiológicos para estimar matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos de milho. *Revista brasileira Agrociência*. v. 11, n. 4, p. 409-418, Out./Dez., 2005. Disponível em: <<http://www2.ufpel.edu.br/faem/agrociencia/v11n4/artigo04.htm>>. Acessado em: 26, Set., 2017.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 225 p.

FERREIRA, D. F. *SISVAR - Sistema de análise de variância para dados balanceados*. Lavras: UFLA, p.19, 1988.

GOMES, A. C. dos S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; SOARES, F. C.; PARIZI, A. R. C. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. *Ciência Rural*. Santa Maria. v.44, n.1, p.43-49, jan, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v44n1/a0214cr2013-0058.pdf>>. Acessado em: 26, set., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013005000145>.

GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; RODRIGUES, J. A. dos S. *Recomendações de densidades de plantio e taxas de semeaduras de culturas anuais e forrageiras em plantio consorciado*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2006. 6p. (Comunicado Técnico 137). Disponível em: <<https://www>

[.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/486576/1/Com137.pdf](http://infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/486576/1/Com137.pdf)> Acessado em: 22, set., 2017.

GRANT, K.; KREYLING, J.; DIENSTBACH, L. F. H.; BEIERKUHNLEIN, C.; JENTSCH, A. Water stress due to increased intra-annual precipitation variability reduced forage yield but raised forage quality of a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. p. 11-22. Jan. 2014.

Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914000358?via%3Dihub>>. Acessado em: 14, jul., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.013>.

HERINGER, I.; MOOJEN, E. L. Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milheto submetida a diferentes níveis de nitrogênio. *Revista Brasileira Zootecnia*. v. 31, n. 2, p. 875-882, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v31n2s0/21276.pdf>>. Acessado em: 27, set., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982002000400010>.

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. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/07BC8B762364>>. Acessado em: 11, ago., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11763>.

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. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/571/pdf_330>. Acessado em: 18, jul., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v11n100571>.

KRESOVIC, B.; TAPANAROVA, A.; TOMIC, Z.; ZIVOTIC, L.; VUJOVIC, D.; SREDOJEVIC, Z.; GAJIC, B. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. *Agricultural Water Management*. p. 34-43. Fev. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377416300373>>. Acessado em: 14, jul., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.023>.

LIBARDI, P. L. *Dinâmica da água no solo*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), 2005. 344 p.

LIRA, S. A.; NETO, A. C. Coeficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. *Revista Ciência & Engenharia*, v. 15, n. 1/2, p. 45-53, 2006. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/view/529>>. Acessado em: 15, ago., 2017.

MELO D. A. de. *AValiação de SORGO (Sorghum bicolor (L.) Moench.) E MILHETO (Pennisetum glaucum(L.) R. BROWN) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO*. Dissertação. (Mestrado em Zootecnia). Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande.

Patos.2006.

MILLAR, A. A. *Drenagem de terras agrícolas*. Petrolina: Sudene, 1974. 164 p.

MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Secretária da Agricultura. Porto Alegre, Brasil, 1961. 42p.

MULLER, M. dos S.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A. G.; OVEJERO, R. F. L. Produtividade do *Panicum maximum* cv. Mombaça irrigado, sob pastejo rotacionado. *Scientia Agrícola*. v. 59, n. 3, p. 427-433, jul./set. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v59n3/10571.pdf>>. Acessado em: 27, set., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000300003>.

OLIVEIRA, E. M. de; OLIVEIRA FILHO, J. da C.; OLIVEIRA, R. A. de; OLIVEIRA, R. M. de; CECON, P. R.; CÓSER, A. C. Efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio e potássio na produção do capim Tanzânia. *Revista Ambiente e Água*. Taubaté, v.10, n.3, jul./set. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v10n3/1980-993X-ambiagua-10-03-00698.pdf>>. Acesso em: 22, set., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993X>.

OLIVEIRA, V. da S.; MORAIS, J. A. DA S.; FAGUNDES, J. L.; LIMA, J. C. S.; SANTANA, J. C. S.; SANTOS, C. B. dos. Efeito da irrigação na produção e qualidade de pastagens durante o período da seca. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*. v. 26, n. 0, 2016. Disponível em: <<http://revistas.bvs-vet.org.br/rcemv/article/view/35675/40086>>. Acessado em: 22, set., 2017.

ORTH, R.; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SACCARDO, E. Produção de forragem de gramíneas anuais semeadas no verão. *Ciência Rural*. Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1535-1540, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v42n9/a26812cr4602.pdf>>. Acessado em: 22, set., 2017.

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

PEREIRA FILHO, I. A. *Cultivo do Milheto*. 5. Ed. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, Abr. 2016. Sistema de produção 3. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9018>. Acesso em: 22, set., 2017.

PEREIRA, P. de C.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. e; SILVA, M. J. da. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. *Revista Caatinga*. Mossoró, v.30, n.3, p. 776-785, Jul./Set. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000300776&lng=en&tlng=en>. Acessado em: 22, set., 2017. doi:

<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n326rc>.

PIMENTA, B. D. *Análise de formulações explícitas do coeficiente de perda de carga em condutos pressurizados*. 2017. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

PIMENTEL, R. M.; BAYÃO, G. F. V.; LELIS, D. L.; CARDOSO, A. J. da S.; SALDARRIAGA, F. V.; MELO, C. C. V.; SOUZA, F. B. M. de; PIMENTE, A. C. de S.; FONSECA, D. M. da; SANTOS, M. E. R. Ecofisiologia de plantas forrageiras. *PUBVET*. v. 10, n. 9, p. 666-679, Set., 2016. Disponível em: <<http://www.pubvet.com.br/uploads/1f23af62995ac0ddf2c41475e0be072b.pdf>>. Acessado em: 27, set. 2017.

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, p. 1-9, 2015. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ncomms6989>>. Acessado em: 17, jul., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms6989>.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. *Revista Ceres*. v. 50, n. 287, p. 9-26, 2003. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2854/710>>. Acessado em: 15, ago., 2017.

SILVA, A. G. da; ROCHA, V. S.; PINA FILHO, O. C.; PINTO, G. H. F.; TEIXEIRA, I. R. Avaliação do rendimento de forragem de cultivares de sorgo forrageiro sob diferentes condições termo-fotoperiódicas. *Revista Ceres*. v. 53, n. 307, p. 292-301. 2006. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3142/1039>>. Acessado em: 25, set., 2017.

SINGH, B. R., e SINGH, D. P. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Research*. v. 4, p. 57-67, 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037842909500025L>>. Acessado em: 18, jul., 2017. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00025-L](http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290(95)00025-L).

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

TARDIN, F. D.; ALMEIDA FILHO, J. E. de; OLIVEIRA, C. M. de; LEITE, C. E. do P.; MENEZES, C. B. de; MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 12, n. 2, p. 102-117, 2013. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/423/pdf_62>. Acessado em: 27, set., 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n2p102-117>.

VITAL, A. de F. M; SANTOS, D.; DANTOS, R. V. dos. Características agrônômicas do milho adubado com diferentes fontes orgânicas. *Revista Agropecuária Técnica*. v. 36, n. 1, p. 303-309, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/index.php/at/article/view/24598/14188>>. Acessado em: 25,

Set., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.25066/agrotec.v36i1.24598>.

VIVAN, G. A.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; PARIZI, A. R. C.; BARBOZA, F, da 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, set./out. 2015.

Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/14907/17145>>.

Acessado em: 25, Set., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n5p2943>.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. *Physical Geography*. v.2, p.184-194, 1981. Disponível

em: <http://climate.geog.udel.edu/~climate/publication_html/Pdf/W_Phys_Geog_1981.pdf>.

Acessado em: 25, Set., 2017.

Figura 1 – Balanço hídrico considerando a evapotranspiração da cultura, precipitação efetiva, chuva escoada, drenagem profunda, necessidade de irrigação (100 % ETo), até profundidade de 0,50 m, para os diferentes tratamentos (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETo), nos períodos de condução dos experimentos.

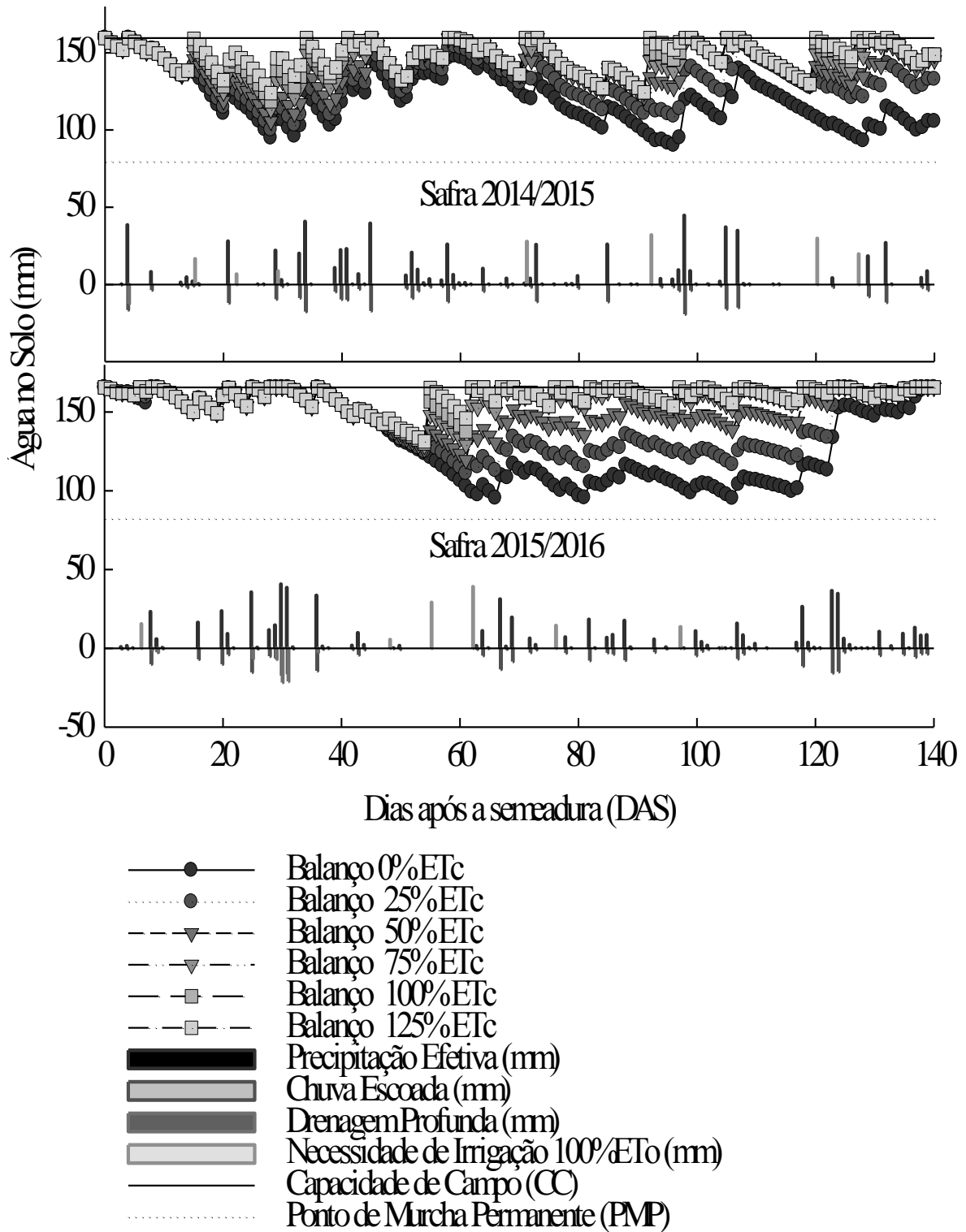


Figura 2 - Produção de forragem de milho das safras 2014/2015 e 2015/2016 em relação às lâminas de irrigação.

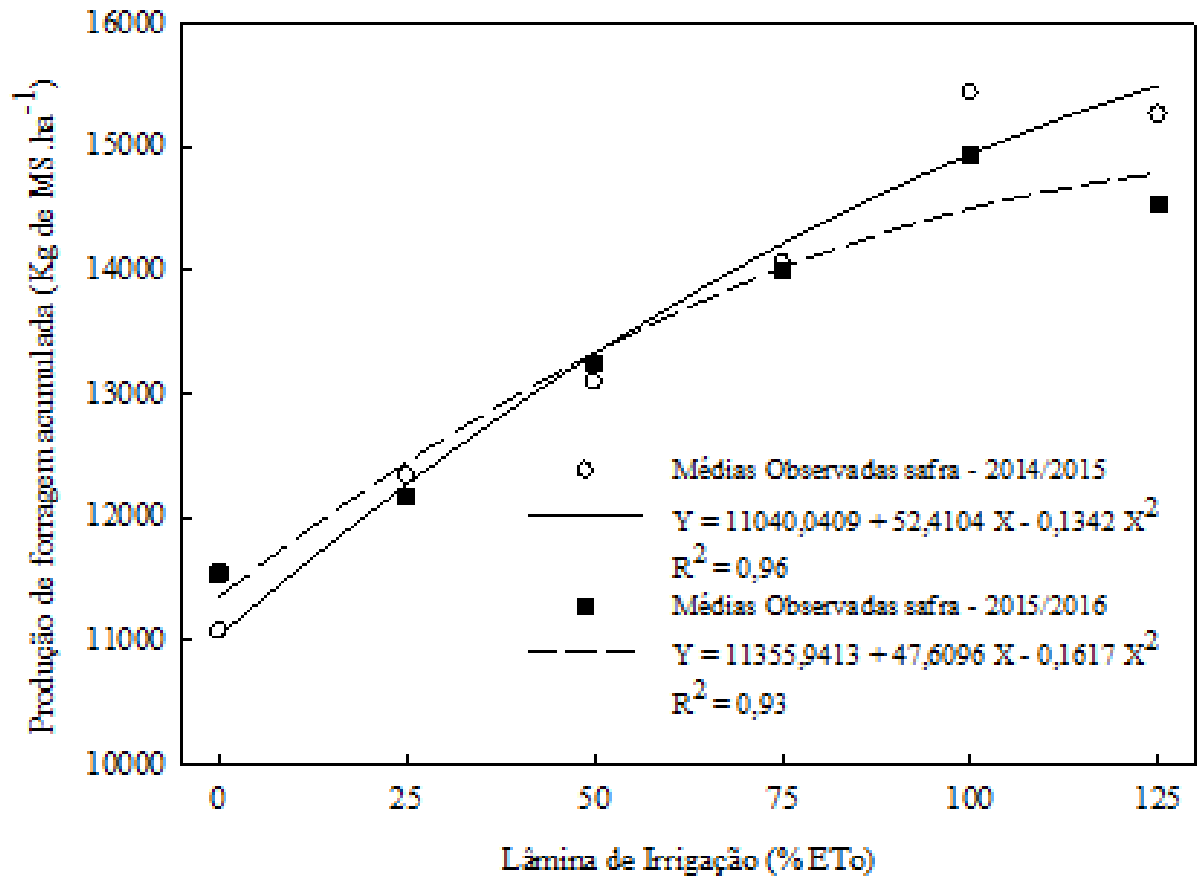


Tabela 1 – Precipitação efetiva (mm), lâminas de irrigação (mm) e produtividade da água (kg de MS m⁻³) para cada tratamento dos dois anos agrícolas.

Tratamento (% ETo)	Precipitação efetiva (mm)	Lâmina de Irrigação (mm)	Produtividade da água (kg de MS m⁻³)
Safra 2014/2015			
125	638,54	176,71	1,87
100		141,37	1,98
75		106,03	1,89
50		70,69	1,85
25		35,34	1,83
0		0,00	1,74
Safra 2015/2016			
125	624,82	146,83	1,63
100		117,46	1,75
75		88,10	1,72
50		58,73	1,73
25		29,37	1,66
0		0,00	1,68

Figura 3 – Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo logístico ($Y=a/(1+\exp(b-c.x))$) para produção acumulada de forragem de milho (kg de MS ha⁻¹) (Y) para as duas lâminas de 125 % da ETo (lâminas onde encontrou-se a MET), para as safras agrícolas de 2014/2015, 2015/2016 e curva média, em função das lâminas totais aplicadas (mm) (X) com as médias observadas.

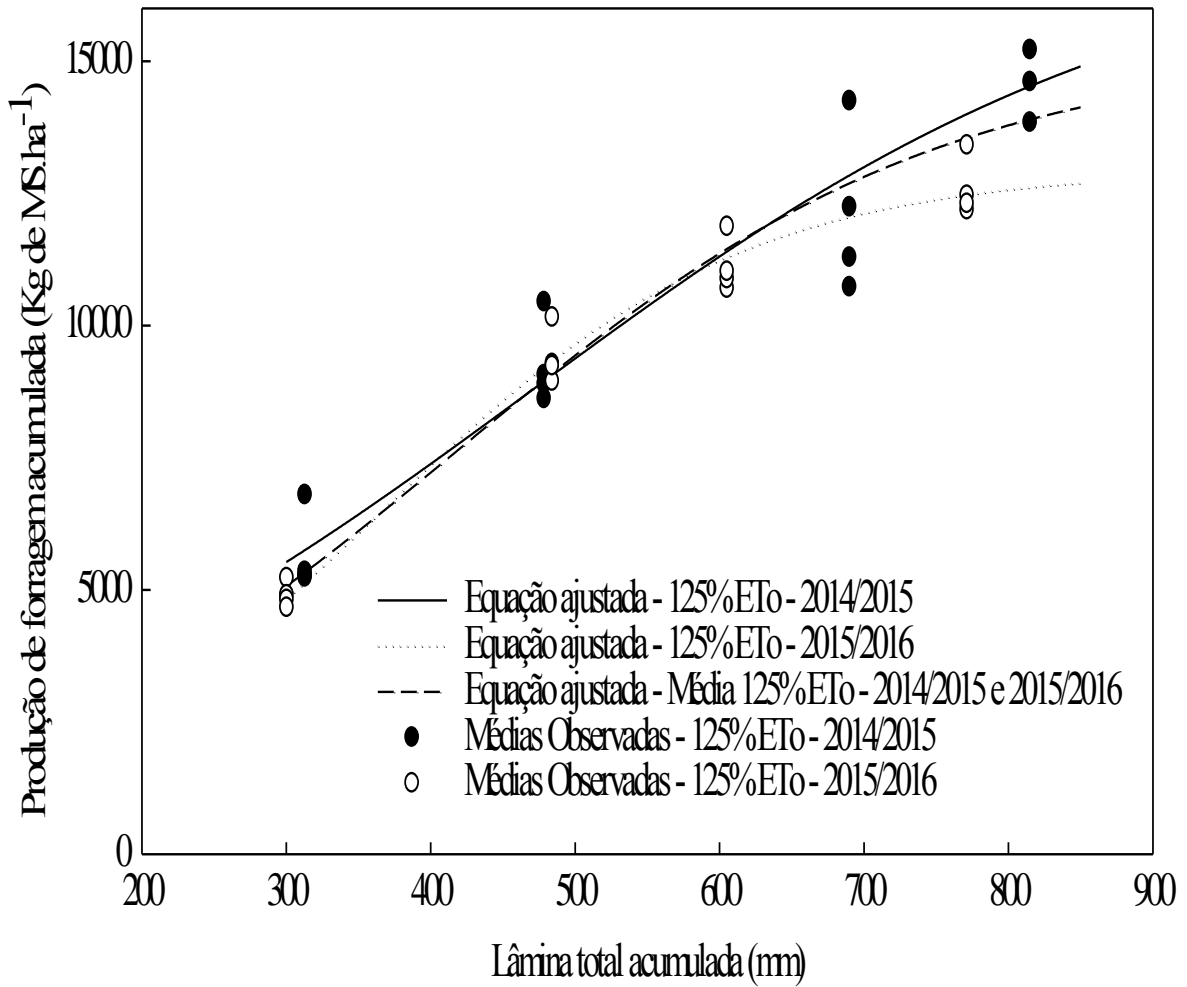
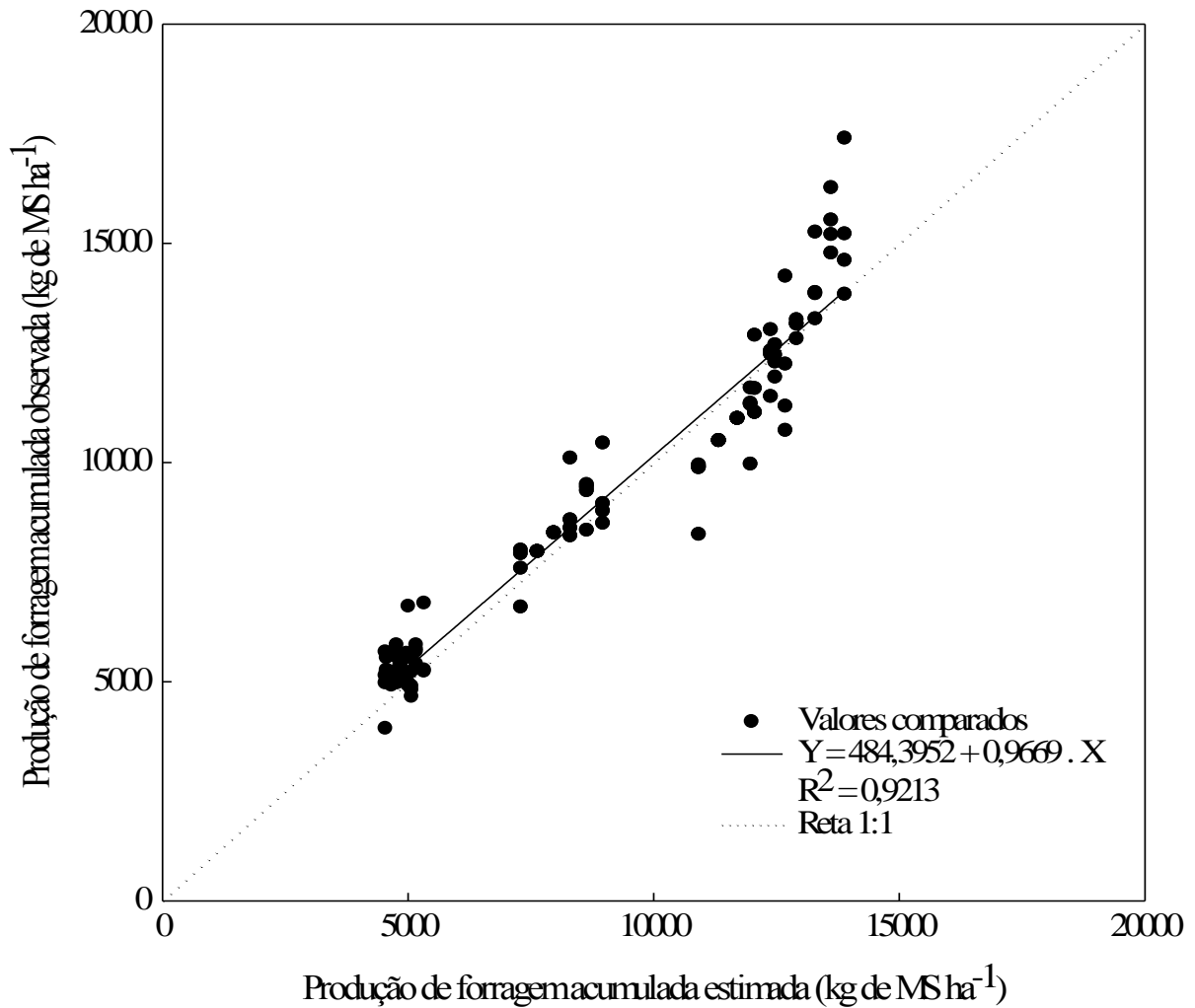


Tabela 2 – Estimativas, limites superiores (LS) e inferiores (LI) dos parâmetros (a, b e c) e coeficiente de determinação do modelo logístico em função da lâmina total aplicada (precipitação efetiva + irrigação), para os tratamentos 125 % ETo das duas safras agrícolas e com a média dos dois tratamentos.

Tratamento	Parâmetros da equação			
	a	b	c	R²
LS	19933,66	2,85	0,0065	
125 % Eto 2014/2015	17494,67	2,15	0,0046	0,93
LI	15055,68	1,45	0,0026	
LS	13760,42	3,45	0,0096	
125 % Eto 2015/2016	12958,98	2,92	0,0080	0,98
LI	12157,53	2,39	0,0064	
LS	17252,64	3,05	0,0078	
125 % Eto - 2014/2015 e 2015/2016	15220,31	2,47	0,0059	0,93
LI	13187,98	1,89	0,0040	

Figura 4 – Comparação entre as produções de massa seca acumulada estimada pela equação (Média 125 % ETo - 2014/2015 e 2015/2016) e produções de massa seca acumulada observadas nos tratamentos (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETo) das duas safras agrícolas (2014/2015 e 2015/2016).



5 ARTIGO 2 - BENEFÍCIO LÍQUIDO DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE MILHETO

Benefício líquido de irrigação na produção de forragem de milheto

Net benefit of irrigation in forage production of millet

Resumo

A irrigação é uma técnica que visa garantir altos rendimentos e reduzir períodos de escassez forrageira. Com a inclusão desta técnica, há um incremento no custo de produção, devendo este ser inferior aos rendimentos decorrentes de sua utilização para garantir a opção pelo uso. A determinação da viabilidade técnica e econômica da utilização da irrigação é imprescindível para avaliar os sistemas produtivos forrageiros. Com a quantificação das expectativas de rendimento da forragem de milheto irrigada em peso vivo animal, e dos custos de produção para diferentes safras agrícolas e regiões, o objetivo deste trabalho foi determinar a viabilidade técnica e econômica da irrigação, na produção de forragem de milheto. Verificou-se que as demandas hídricas das diferentes safras agrícolas e regiões estudadas são variáveis e influenciam nos custos da irrigação. A inclusão da irrigação no sistema produtivo forrageiro aumentou o custo total, em média, em 13,42 %. A irrigação por aspersão convencional fixa é viável economicamente, aumentando o retorno econômico nas regiões de Santiago e Santa Maria.

Palavras chaves: Estimativa de ganho animal; custo da irrigação convencional fixa, *Pennisetum americanum* L.

Abstract

Irrigation is a technique that seeks to ensure high yields and reduce periods of forage scarcity. With the inclusion of this technique, there is an increase in the cost of production, this should be less than the income arising from its use to ensure the option to use. The determination of the technical and economic viability of irrigation utilization is essential to evaluate the forage production systems. With the quantification of expectations of yield of irrigated fodder millet in animal live weight, and costs of production for different agricultural crops and regions, the objective of this work was to determine the technical and economic viability of irrigation, in the production of forage of pearl millet. It was found that the water demands of different agricultural crops and regions studied are variable and influence the cost of irrigation. The inclusion of irrigation in the productive system radish increased the total cost, on average, 13.42 %. The fixed conventional sprinkler irrigation is economically viable, increasing the economic return in the regions of Santiago and Santa Maria.

Keywords: Estimation of animal gain; cost of conventional irrigation; *Pennisetum americanum* L.

Introdução

A irrigação é uma técnica agrícola que possibilita oferta de alimento de qualidade aos rebanhos, durante todo o ano. Visa reduzir os efeitos da escassez hídrica, garantindo altos rendimentos de forrageiras (OLIVEIRA et al., 2015; KIRCHNER et al., 2017; KOETZ et al., 2017).

Embora a irrigação possa trazer benefícios aos sistemas de produção pecuários, a análise econômica é fundamental para avaliar a sustentabilidade destes empreendimentos, sendo necessário obter altas produtividades para garantir que haja viabilidade no investimento (SOARES et al., 2015). O custo de produção auxilia o produtor a planejar os investimentos, possibilitando a otimização do capital investido e a maximização do lucro (RICHETTI, 2014).

O aumento na produtividade não necessariamente acarretará em aumento na lucratividade para o produtor rural, tendo em vista que nem sempre haverá um retorno financeiro satisfatório em relação ao investimento executado (FERNANDES, 2012). Decorre daí a necessidade da elaboração de estudos de viabilidade que disponibilizem informações relevantes para a correta tomada de decisão dos produtores, diminuindo as incertezas em relação ao retorno esperado de seu investimento.

Para determinar a sustentabilidade técnica e econômica, necessita-se de quantificação dos níveis de produção em relação ao volume do insumo a ser aplicado de forma a atingir o nível de produção almejado (GOMES et al., 2013). A conversão de massa seca de forragem em peso animal depende, dentre outros fatores, da oferta de forragem aos animais. Heringer e Carvalho (2002) indicam, como oferta de forragem, a utilização de 4 %, sendo o consumo estimado de 2,5 kg de MS para cada 100 kg de PV (NATIONAL RESEARCH CONCIL, 1984), acrescentado de uma rejeição mais perda de forragem de 37 % do material consumido.

Resultados experimentais demonstram o potencial de uso da cultura do milho como forrageira. Pinheiro (2002) indica que a irrigação em pastagens no Brasil apresenta rentabilidade variável entre R\$ 770,00 e - R\$ 140,00 ha⁻¹ ano⁻¹, podendo esta diferença ser atribuída às condições climáticas locais. O ganho de peso dos animais pode influenciar na rentabilidade dos sistemas produtivos. Glienke (2012) observou, para pastagens de milho, ganhos médios diários variados, sendo que 10,76 % foram inferiores a 0,500 kg dia⁻¹, 57,89 % entre 0,501 e 1,000 kg dia⁻¹, 23,42 % 1,001 a 1,500 kg dia⁻¹ e 8,23 % foram superiores a 1,500 kg dia⁻¹. A autora cita que a ingestão de matéria seca de milho pelos animais, variou de 5 kg dia⁻¹ a aproximadamente 7,4 kg dia⁻¹, com taxa de lotação média de 5,06 UA ha⁻¹ e o ganho de peso por área foi de 8,15 kg ha⁻¹ dia⁻¹. Moojen et al. (1999) encontraram ganhos médios diários de 0,55 kg dia⁻¹ a 0,76 kg dia⁻¹ em pastagem de milho submetida a doses de nitrogênio com oferta de forragem de 10 %. Pacheco et al. (2014), estudando as características produtivas de milho e capim sudão, encontraram taxas de lotação de 1741,10 kg ha⁻¹ e 1881,70 kg ha⁻¹, com ganhos médios diários de 1,04 e 0,96 kg animal⁻¹ dia⁻¹ e ganhos de peso vivo por área de 4,18 e 4,55 kg ha⁻¹, respectivamente.

Considerando a necessidade de avaliação econômica de sistemas produtivos forrageiros

irrigados, este trabalho tem como objetivo a determinação dos custos de produção e a verificação da viabilidade técnica e econômica da irrigação, na produção de forragem de milho irrigado.

Material e Métodos

Para análise da viabilidade da produção de forragem de milho irrigada foram comparadas as relações benefício-custo da produção não irrigada e irrigada de cinco safras agrícolas (2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017), nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul. Foram realizadas as conversões da produção de forragem de milho em quilogramas de peso vivo animal e as estimativas de custos com base nas demanda hídrica de cada safra.

Determinação da demanda hídrica

As determinações das lâminas de irrigação (L_i) e do número de irrigações (N_i) requeridas ao longo do ciclo foram realizadas através do balanço de entradas e saídas de água, considerando como entradas as precipitações efetivas (P_e) e como saídas os valores de evapotranspiração de referência (E_{to}), ambos em escala diária. Considerou-se como necessidade hídrica da cultura a diferença entre E_{to} e P_e , obtida em períodos semanais (7 dias). Para a determinação da P_e foi utilizado o coeficiente de escoamento de 0,30, proposto por Millar (1974), sendo considerada P_e de 70 % da precipitação total no período.

Foram utilizadas as séries históricas das estações meteorológicas pertencentes à rede nacional de monitoramento climático, obtidas junto ao INMet, para os municípios de Santiago e Santa Maria, no período de 2012-2017, sendo o período de início das safras na data de 15 de novembro e a duração de 140 dias. A E_{to} foi obtida, para cada dia, com a utilização da equação de Penann-Monteith, conforme Allen et al. (1998).

Salienta-se que, nas datas em que houve falhas (ausência de dados), para cálculo da E_{to} foram simulados dados aleatórios, considerando a média diária estimada pela equação $Y = a + b \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \frac{X}{d} + c)$ onde, Y é a E_{to} em milímetros, X é o dia juliano e a , b , c e d são parâmetros da equação, sendo acrescida ou diminuída de um valor aleatório menor ou igual ao desvio padrão, diário das séries, estimado pela equação quadrática $Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2$, obtida com os valores de desvio padrão dos dados diários.

Estimativa de produção forrageira

Para a obtenção dos rendimentos forrageiros em massa seca (Prod.F) (kg de MS ha⁻¹) foi utilizada a função de produção (água-cultura) obtida através de experimentos de campo nas safras agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016, nos municípios de Santiago e Santa Maria, RS, respectivamente. As produções de massa seca de forragem de milho, por hectare (kg de MS ha⁻¹), foram determinadas para as lâminas de reposição de 0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da ETo.

As funções de produção de forragem de milho foram obtidas experimentalmente, para as duas regiões, durante um período de 140 dias, com cortes a 15 cm em relação ao solo, nas datas de 50, 80, 110 e 140 dias após a semeadura (DAS). As equações quadráticas $Y = 11040,0409 + 52,4104 X - 0,1342 X^2$, para Santiago e $Y = 11355,9413 + 47,6096 X - 0,1617 X^2$, para Santa Maria, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,96 e 0,93, respectivamente, onde Y é a produção de massa seca de forragem de milho, em quatro cortes, por hectare (kg de MS ha⁻¹), X é a reposição da evapotranspiração, via irrigação (% ETo).

Estimativa de ganho de peso vivo animal

Com as expectativas de produção de forragem de milho foram calculadas as possíveis cargas animal (CA), na qual:

$$CA = \frac{ProdF}{Pd.OF} \quad (1)$$

onde, CA é a carga animal (kg de PV ha⁻¹), ProdF é a produção de forragem (kg de MS ha⁻¹), Pd é a duração do período (dias) e OF é a oferta de forragem (kg de MS dia⁻¹ kg de PV⁻¹).

A Prod.F utilizada foi a obtida nos experimentos de campo. O Pd utilizado foi de 90 dias, conforme utilizado nos experimentos de campo. A OF utilizada foi de 4 (4 kg de MS, para cada 100 kg de PV), conforme sugerido por Heringer e Carvalho (2002).

Com as possíveis CA é possível determinar o número de animais por unidade de área, que multiplicado por um ganho médio diário (GMD) e por um período de pastejo foi simulado o ganho de peso vivo do animal (GPV), conforme a equação:

$$GPV = \frac{CA}{PV} \cdot GMD \cdot Pd \quad (2)$$

onde, GPV é o ganho de peso vivo no período (kg de PV ha⁻¹), PV é o peso dos animais (kg de PV⁻¹) e GMD é o ganho médio diário (kg de PV ha⁻¹ dia⁻¹).

O peso vivo dos animais (PV) utilizado para a simulação foi de 300 kg de PV. O GMD utilizado foi de 1 quilograma, conforme referenciado por Glienke (2012) e Pacheco et al. (2014).

Obtenção da receita bruta

As receitas brutas referentes às produções de PV estimadas, com cada um dos percentuais de irrigação, para as duas regiões, foram obtidas com os GPV multiplicados pelo preço médio do quilograma animal.

$$RB = GPV \cdot Pp \quad (3)$$

onde, RB é a receita bruta (R\$ ha⁻¹) e Pp é o preço de venda do produto (R\$ kg⁻¹ de PV)

Considerou-se, neste trabalho, o valor médio de R\$ 5,00 kg⁻¹ de preço de venda, conforme valores médios observados na região durante o ano de 2017 (SANTA RITA REMATES, 2017).

Custos de produção e retorno econômico

O estudo dos custos foi realizado considerando os custos fixos e variáveis constituintes do sistema de produção de forragem, podendo estes ser relacionados e não relacionados à irrigação, conforme funções de benefício líquido ao irrigante utilizadas por Martin et al. (1989), Broner e Lambert (1989), Mannocchi e Mecarelli (1994), Frizzone e Andrade Junior (2005) e Santos Junior et al. (2015).

Os custos fixos não relacionados à irrigação (CFNRI) foram construídos de todas as operações e insumos necessários (número de horas-máquina, diárias de trator, número de horas homens, preparo de solo, sementes, semeadura, herbicidas, pesticidas e terra), conforme a metodologia proposta pela CONAB (2010). Os custos relacionados à irrigação foram divididos em custos fixos (CFRI) e custos variáveis da irrigação (CVRI) e, para determiná-los, foi projetado um sistema de irrigação por aspersão convencional, conforme metodologia proposta por Biscaro, (2009).

Para a projeção do sistema fixou-se os valores de: altura geométrica de sucção 5m; altura geométrica de recalque 15m; desnível da linha principal e das linhas laterais 2m; altura das elevações dos aspersores de 2m, comprimento da tubulação de recalque de 100 metros, comprimento da tubulação de sucção de 10 metros. Considerou-se como área total irrigada a distância entre os aspersores que se encontram na extremidade da área, mais duas vezes 60 % do alcance dos aspersores, resultando em uma área de 1,28 ha, sendo os valores obtidos no projeto corrigidos para uma unidade de área (1 ha). Os preços dos componentes foram obtidos de equipamentos existentes na região, sendo as tubulações de PVC Azul (para irrigação), com os diâmetros comerciais encontrados e pressão nominal de serviço menores possível para cada setor (linhas laterais, principal, recalque e sucção). Para um mesmo setor foi selecionado apenas um diâmetro comercial. O controle das laterais em operação foi por meio de registros de esfera.

Os CFRI foram calculados com a equação proposta por CONAB, (2010), na qual:

$$CFRI = CD + CJ + CSe \quad (4)$$

onde, CFRI é o custo fixo relacionado á irrigação (R\$ ha⁻¹), CD é a depreciação dos componentes do sistema (R\$ ha⁻¹), CJ é o custo com juro sobre o capital investido (R\$ ha⁻¹) e CSe é o custo com seguro

dos componentes do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹).

Os valores de CD foram calculados utilizando-se a equação (CONAB, 2010), na qual:

$$CD = [(VN - VR)/VUh].HsTr \quad (5)$$

onde, VN é o valor de aquisição do componente, novo (R\$ ha⁻¹), VR é o valor residual do componente (R\$ ha⁻¹), Vuh é a vida útil do componente (h) e HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente (h).

O valor residual ou de sucata foi calculado como 20 % do valor de compra de cada componente do sistema. A vida útil utilizada foi de 20 anos (CONAB, 2010).

Os valores de CJ foram calculados considerando-se a taxa de remuneração de 6,0 % ao ano, aplicados sobre o valor médio dos equipamentos, conforme a equação (CONAB, 2010), na qual:

$$CJ = \{[(VN \cdot QM)/2]/CAT\} \cdot HsTr \cdot J \quad (6)$$

onde, QM é a quantidade do bem, CAT é a capacidade de trabalho do bem (h) e J é a taxa de remuneração.

Os valores de CSe foram determinado como sendo 0,35 % do valor médio do bem novo (CONAB, 2010), como segue:

$$CSe = (VN/2) \cdot 0,35 \cdot (HsTr / Vuh) \quad (7)$$

Os valores de CVRI foram obtidos pelo custo de aplicação da lâmina de irrigação, da mão-de-obra empregada e da manutenção do sistema, como na seguinte equação:

$$CVRI = CvE + CvMo + CvMan \quad (8)$$

onde, CVRI é o Custo variável relacionado á irrigação (R\$), CvE é o custo variável com energia elétrica (R\$), CvMo é o custo com mão-de-obra empregada na irrigação (R\$) e CvMan é o custo com manutenção dos equipamentos (R\$).

O custo variável da energia elétrica foi calculado considerando a potência do conjunto motobomba e o tempo para aplicação da lâmina de irrigação, sendo:

$$CvE = Pw \cdot Ee \cdot T \cdot Li \quad (9)$$

onde, Pw é a potência do conjunto motobomba (Kw h⁻¹), Ee é o preço da energia elétrica (R\$ Kw⁻¹), T é o tempo para aplicação de um milímetro de água (h mm⁻¹) e Li é a lâmina de irrigação (mm ha⁻¹).

A determinação da potência necessária para aplicação de um milímetro de água via irrigação foi calculada com os dados do projeto para um hectare.

O valor da energia considerado foi de 0,32 R\$ kW h⁻¹, considerando o preço na tarifa verde estabelecidos pela Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (RIO GRANDE ENERGIA, 2017).

As determinações das lâminas de irrigação (Li) foram realizadas através do balanço de entradas e saídas de água, considerando as séries históricas.

O custo de mão de obra foi calculado utilizando o tempo proposto de 0,5 horas por hectare em cada setor do sistema e por irrigação (MAROUELLI e SILVA, 2011), considerando o valor da hora trabalhada equivalente ao salário mínimo rural, conforme CONAB (2010), como na equação:

$$CvMo = Ni \cdot Ns \cdot 0,5 \cdot VSMIn / 220 \quad (10)$$

onde, Ni é o número de irrigações, Ns é o número de setores do sistema de irrigação e VSMIn é o valor do salário mínimo (R\$).

As determinações dos números de irrigações (Ni) foram realizadas através do balanço de entradas e saídas de água, considerando as séries históricas.

O número de setores do sistema de irrigação foi de seis, determinado na confecção do projeto. O valor do salário mínimo rural utilizado foi de R\$ 1.175,15 (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

Os valores dos custos com manutenção foram calculados sobre 1 % do valor do sistema de irrigação, acrescido de 10 % do valor gasto com energia (CONAB, 2010), conforme a equação:

$$CvMan = VN \cdot 0,01 \quad (CvE / 10) \quad (11)$$

O retorno líquido (RL), nos diferentes cenários testados (sem irrigação e irrigado com 25, 50,75, 100 e 125 % da ETo) foi obtido através da seguinte equação:

$$RL = RB - CNRI - CFRI - CVRI \quad (12)$$

onde, RL é o retorno líquido ao produtor irrigante (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).

Nas avaliações de cenários irrigados, testou-se o retorno líquido para as lâminas de reposição utilizadas nos experimentos de campo.

Resultados e discussão

Através da análise das séries históricas foi possível determinar as precipitações efetivas, o número de irrigações e as necessidades hídricas para as diferentes lâminas de irrigação (% ETo). Como pode ser observado na Tabela 1, o número de irrigações necessárias para as safras agrícolas variaram de 6 a 10 na região de Santiago e de 6 a 12 na região de Santa Maria. Fato que influenciou nos custos variáveis com mão-de-obra, conforme apresentados na Tabela 2.

As necessidades de complementação hídrica (lâmina de irrigação), tendo como base os tratamentos de 125 % da ETo (tratamentos nos quais são obtidas as máximas eficiências técnicas), variaram de 84,26 mm a 221,93 mm e 150,75mm a 323,01mm, para as regiões de Santiago e Santa Maria, respectivamente, influenciando diferentemente no custo variável com energia elétrica e manutenção. Salienta-se que em Santa Maria as variações de necessidades de irrigação foram maiores, com média nos cinco anos de 206,16 mm.

Lâminas de irrigação superiores foram utilizadas por Dantas et al. (2016), quando encontraram maiores produtividades de *Brachiaria brizantha* com as lâminas de 267 e 269 mm para outono e

inverno, respectivamente. Os autores dizem que a irrigação pode proporcionar aumento e estabilidade da produção forrageira. Kirchner et al. (2017), em estudo com a cultura do sorgo forrageiro, na região de Santiago, RS, encontraram demanda evapotranspirativa 563,7 mm e, mesmo com precipitação efetiva de 618,30 mm, houve necessidade de irrigação de 179,4 mm, confirmando a irregularidade da distribuição das precipitações, que causa instabilidade na produção.

As estimativas de produção de forragem de milho para as duas regiões de estudo, bem como a carga animal para cada produção de forragem, considerando os sistemas produtivos sem e com irrigação, podem ser observadas na Figura 1. Salienta-se que nas lâminas de 125 % da ETo, onde obteve-se maior produção de forragem para as duas regiões, encontrou-se maior carga animal, o que possibilita maior quantidade de animais por unidade de área e, conseqüentemente, maior ganho de peso vivo. Comparando os sistemas produtivos que não receberam irrigação com o tratamento de 125% da ETo, as estimativas de produções de forragem variaram de 11.040,04 a 15.494,47 e 11.355,94 a 14.780,58 kg de MS ha⁻¹, respectivamente, para Santiago e Santa Maria. A carga animal variou de 3.066,68 a 4.304,02 (Santiago) e 3.154,43 a 4.105,72 (Santa Maria) kg de PV ha⁻¹.

Comparando os tratamentos, quanto maior a lâmina de irrigação, maior é a carga animal possível por unidade de área e, conseqüentemente, maior será o ganho de PV. Valores de carga animal inferiores foram observadas por Montagner et al. (2008), que avaliando o desempenho de novilhas de corte em pastagens de milho, obteve valores entre 3.119,9 e 2.541,8 kg de PV ha⁻¹. Também Pacheco et al. (2014) encontraram carga animal inferior, ao avaliar os parâmetros produtivos de pastagens de milho manejadas em pastejo contínuo com vacas destinadas ao abate, com média de 1.741,1 kg de PV ha⁻¹. Estes valores inferiores podem ser atribuídos a menores produções de forragem encontradas pelos autores.

Também pode ser observado na Figura 1, nos dois locais de estudo, que o comportamento da produção de forragem e carga animal em função da disponibilidade hídrica é crescente, sendo a maior diferença entre as regiões, encontrada nas lâminas de 125 % da ETo, a qual foi 4,83 % superior na região de Santiago.

Na Tabela 2 pode ser observada a composição dos custos oriundos dos sistemas produtivos. Observa-se que os componentes do custo total que são fixos (CFNRI e CFRI), são iguais, enquanto os componentes do CVRI variam conforme o número de irrigações e a quantidade de reposição das lâminas de irrigações. Observa-se que o menor CVRI foi encontrado na safra agrícola de 2016/2017 na região de Santiago (R\$ 265,62 por hectare), o que é justificado pela menor quantidade de irrigações (6 irrigações), como pode ser visualizado na Tabela 1. Já o maior CVRI foi encontrado na safra 2013/2014 em Santa Maria (R\$ 523,87 por hectare), sendo atribuído ao maior número de irrigações (12 irrigações) e pela alta necessidade de irrigação (323,01 mm), requeridas.

A inclusão do sistema de irrigação aumentou o custo total do sistema produtivo em 13,42 %, em média, sendo a menor variação encontrada de 10,20 %, na safra agrícola 2016/2017, para a região

de Santiago e a maior, um acréscimo de 20,76 % na safra agrícola de 2013/2014 na região de Santa Maria. O custo fixo de depreciação do sistema de irrigação utilizado é inferior ao indicado por Marouelli e Silva (2011), que citam R\$ 601,67 ha⁻¹ para sistemas de irrigação convencionais fixos.

Os custos não relacionados à irrigação encontrados neste trabalho são semelhantes aos valores referenciados por Martins et al. (2016), que obtiveram para a cultura do milho irrigado por gotejamento, custos médios anuais de R\$ 2.325,00 ha⁻¹ (total não relacionado a irrigação). Já os custos fixos e os custos variáveis, relacionados ao sistema de irrigação, encontrados pelos autores foram R\$ 1.848,75 ha⁻¹ e R\$ 118,65 ha⁻¹, sendo estes superiores e inferiores, respectivamente aos deste trabalho. Esta diferença pode ser atribuída ao tipo de sistema de irrigação que, geralmente possui maior valor de aquisição e menor custo de operação.

Na literatura é possível encontrar custos oriundos de sistemas de produção de forragem bastante altos. Dantas et al. (2017) encontraram custo anual de produção da palma forrageira irrigada de R\$ 7.447,80 ha⁻¹. Já Pompeu et al. (2014) observaram custos de produção de silagem de milho de R\$ 6.409,90 ha⁻¹.

Em relação ao custo de produção por tonelada de forragem de milho observa-se na Tabela 3 que para Santiago, no sistema produtivo referente à lâmina de 125 % da ETo encontram-se os menores valores, isto porque nesta região encontram-se maiores médias de produção irrigada (Figura 1) e menores custos de produção (Tabela 2). Comparando o custo médio de cada região, é possível verificar que em Santiago a introdução da irrigação, com a lâmina onde de 125 % da ETo, causa redução do custo da tonelada de massa seca de forragem produzida (de R\$ 181,16 para R\$ 177,71 ton⁻¹), enquanto em Santa Maria há um aumento deste mesmo custo (de R\$ 176,12 para R\$ 191,39 ton⁻¹). O fato do custo da tonelada produzida, sem a introdução da irrigação, em Santa Maria, ser menor, pode ser atribuído à baixa amplitude de produção encontrada nos experimentos de campo para obtenção da função de produção, ocasionada pela grande quantidade de chuvas nos período e, também pela maior demanda por irrigação, o que aumenta o CVRI.

Observa-se na Figura 2 que as expectativas de lucro por hectare, nas lâminas de 125 % da ETo, são superiores às demais. Contudo é interessante destacar que, se a taxa de oferta de forragem for aumentada, considerando maiores perdas ou consumo, para mesmos valores de PV, GMD e valor do quilograma de PV, a expectativa de lucro por hectare será diminuída, podendo até ser negativa.

O peso dos animais também influencia no rendimento do sistema forrageiro, uma vez que se forem utilizados animais mais pesados o número de cabeças a ser alocado por unidade de área será diminuído, resultando em menor ganho por unidade de área. Já, se o GMD ou o preço de venda do PV forem aumentados, maior será o lucro. Gottschall et al. (2013) encontraram GMD de 1,43 kg de PV na terminação de animais machos em pastagens de milho, ganho este 43 % superior ao utilizado neste trabalho, resultando numa receita bruta superior e de igual proporção.

Na região de Santiago observou-se ganhos médios de 920 à 1.291 kg de PV ha⁻¹, para os tratamentos sem irrigação e 125 % da ETo, respectivamente (Figura 2). O incremento médio de ganho por unidade de área é de 40 %, quando utilizada a irrigação com este percentual de reposição. Na região de Santa Maria observou-se ganhos médios de 946 à 1.231 kg de PV ha⁻¹, resultando em um incremento de 30 % no ganho de PV.

O ganho de peso vivo no período, encontrado neste trabalho, foi superior aos valores encontrados por Restle et al. (2002). Estes autores, avaliando o desempenho de novilhos de corte com diferentes espécies forrageiras, encontraram para a cultura do milheto ganho de 639,9 kg de PV ha⁻¹ em um período de 98 dias, com ganho de peso diário médio, por animal, de 1,19 kg. Esta diferença pode ser atribuída a menor produção de massa seca e maior taxa de oferta encontrada pelos autores, 9.039 kg ha⁻¹ e 6 %, respectivamente.

Ribeiro et al. (2008) encontraram resultados semelhantes, com acréscimo no ganho de peso vivo médio anual de aproximadamente 18 %, sendo as médias de 1.112,5 e 1.312,0 kg de PV ha⁻¹, influenciado pela irrigação, nas culturas do Capim Elefante e Capim Mombaça, nas épocas de seca e chuvosa.

Na Figura 2 também podem ser visualizados os custos médios fixos e totais em cada um dos tratamentos e regiões, sendo os totais, nas lâminas de 125 % da ETo de R\$ 2.737,39 e R\$ 2.812,71 ha⁻¹ para as regiões de Santiago e Santa Maria respectivamente. Tais custos são superiores aos encontrados por Soares et al. (2015) que, em três diferentes sistemas produtivos irrigados, obtiveram custos totais de R\$ 1.626,93, R\$ 2.004,86 e R\$ 2.101,59 ha⁻¹. Estes autores verificaram que o custo médio com energia elétrica foi de R\$ 308,70 ha⁻¹ e neste trabalho verificou-se valores médios de R\$ 290,78 e R\$ 366,10 ha⁻¹.

Na Tabela 4 podem ser observadas as expectativas de retorno econômico das diferentes safras e regiões para cada tratamento testado. Observa-se que o maior lucro médio encontrado foi na região de Santiago com aumento de 43,02 % (Lâmina de 125 % da ETo) em relação ao sistema produtivo sem irrigação, visto que foi a condição com maior produção forrageira (Figura 1) e também menores custos variáveis relacionados à irrigação (Tabela 2). Já na região de Santa Maria encontrou-se aumento do lucro de 22,49 % para a média das cinco safras.

Azevedo e Saad (2009) também encontraram viabilidade econômica da irrigação em pastagens para nove de dez cidades do Brasil, sendo a maior receita líquida encontrada na cidade de Boa Vista, RR, com R\$ 735,85 ha⁻¹ enquanto na cidade de Sete Lagoas, MG foi encontrada uma receita negativa de R\$139,22 ha⁻¹, valores anuais.

Faria et al. (2015), comparando diferentes sistemas de recuperação de pastagens na pecuária leiteira, no Município de Bambuí, Minas Gerais, afirmam que existe viabilidade na integração lavoura pecuária-floresta, com saldo positivo de R\$ 11.269,70 ha⁻¹, enquanto que os sistemas integração

lavoura pecuária e pastagem monocultivo não são viáveis com saldos negativos de R\$ 2.766,40 e R\$ 3.143,80 ha⁻¹, respectivamente (valores referentes a um período de 12 anos).

Resultados inferiores também foram encontrados por Manetti Filho et al. (2012), ao avaliar o retorno econômico da engorda de novilhas em pastagem irrigada, encontraram retorno bruto de R\$ 1.960,00 ha⁻¹ com custo de produção de R\$ 1.375,89 ha⁻¹ obtendo renda líquida de R\$ 584,11 ha⁻¹, considerando um período de 140 dias.

A relação benefício/custo dos sistemas produtivos pode ser visualizada na Tabela 4, quando todos os sistemas testados são viáveis, sendo os benefícios encontrados maiores que os custos investidos. Para região de Santiago observou-se melhor valor no tratamento 125 % ETo com lucro de R\$ 2,36 para cada R\$ 1,00 investido. Na região de Santa Maria observou-se R\$ 2,19, para mesma lâmina de reposição, sendo o maior valor encontrado de R\$ 2,37, no tratamento sem irrigação, o qual foi mais eficiente. Este indicador mostra que sistemas produtivos com a introdução da irrigação com lâminas de alto percentual de reposição são eficientes economicamente. Valores semelhantes foram encontrados por Montagner et al. (2008) que encontraram, na recria de novilhas com pastagens de milheto, relação benefício/custo entre 3,3 e 2,6.

Alves Junior et al. (2015) também comprovam que existe viabilidade econômica na utilização da irrigação, ao encontrarem com irrigação por pivô central, nas culturas da soja, milho e tomate relação benefício/custo média de 2,10. Andrade et al. (2014) observaram resultados inferiores com relações entre 1,00 e 1,12, quando avaliaram o desempenho produtivo e econômico de ovinos.

Conclusões

Considerando os resultados obtidos pode-se concluir que:

As demandas hídricas das diferentes safras agrícolas e regiões estudadas são variáveis e influenciam nos custos variáveis da irrigação.

A inclusão da técnica da irrigação no sistema produtivo forrageiro aumentou o custo total, em média, em 13,42 %.

Conforme as variáveis estudadas, a irrigação por aspersão convencional fixa é viável economicamente, aumentando o retorno econômico em 43,03 % e 22,49 % para as regiões de Santiago e Santa Maria, respectivamente.

As relações benefício/custo dos sistemas produtivos testados foram influenciadas pelos incrementos de produção e de custo de produção e indicam que todos os sistemas testados são viáveis.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, pelo apoio técnico e financeiro às agências de fomento CAPES e CNPq, pelas bolsas de estudo. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, pelo fomento recebido.

Referências Bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH M. *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).
- ALVES JUNIOR. J.; SALES D. L. A.; PEREIRA R. M.; RODRIGUES W. D.M.; CASAROLI D.; EVAGELISTA A. W. P. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate, em diferentes demandas hídricas. *III INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING*. Fortaleza. p. 2970–2980. 2015. Disponível em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/III-INOVAGRI-2015/02.09.2015/a424.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.12702/iii.inovagri.2015-a424>.
- ANDRADE I. R. A. de; CÂNDIDO M. J. D.; POMPEU R. C. F. F.; GUIMARÃES V. P.; SILVA L. V. da; EVANGELISTA M. E. S. Desempenho produtivo e econômico do confinamento de ovinos utilizando diferentes fontes proteicas na ração concentrada. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. Salvador, v.15, n.3, p.717-730 jul./set., 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbspa/v15n3/a20v15n3.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402014000300020>.
- AZEVEDO L. P. de; SAAD J. C. C. Irrigação de pastagens via pivô central, na bovinocultura de corte. *Revista Irriga*. Botucatu. v. 14, n. 4, p. 492-503, out./dez., 2009. Disponível em: <<http://200.145.6.238/bitstream/handle/11449/71168/2-s2.0-73549114883.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em: 06, dez., 2017.
- BISCARO, G. A. *Sistemas de irrigação por aspersão*. Dourados. Editora da UFGD, 2009. 134p.
- BRONER B. I.; LAMBERT J. Optimal scheduling of irrigation machines. I: Model development. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 1989, 115(5), p. 862-879.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. *Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB*. Brasília: CONAB, 2010. 60 p.
- DANTAS, G de F.; de FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F. Produtividade e qualidade da brachiaria irrigada no outono/inverno. *Engenharia Agrícola*. Jaboticabal. v. 36, n. 3, p. 469-481, mai./jun. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162016000300469&lng=pt&tlng=pt>. Acessado em: 26, set., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p469-481/2016>.
- DANTAS, G de F.; LIMA G. F. da C.; MOTA E. P. da. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. *Revista iPecege*. v. 3 n. 1, p. 59-74, 2017. Disponível em: <<https://revista.ipecege.com/Revista/article/view/122/75>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.22167/r.ipecege.2017.1.59>.

FARIA C. M. A de; SILVA M. L. da; FERREIRA L. R.; NETO S. N. de O.; SALLES T. T. Análise econômica de sistemas de recuperação e manutenção de pastagens com gado de leite *Reflexões Econômicas*. v. 1, n. 1, abr./set., p. 85-103, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.uesc.br/index.php/reflexoeseconomicas/article/view/824/776>>. Acessado em: 06, dez., 2017.

FERNANDES, L. M. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região noroeste de minas gerais. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 41-53, 2012. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/publicacoes/IE/2012/tec4-0112.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017.

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

GLIENKE C. L. *Estudo da recria de novilhas de corte em pastagens cultivadas de verão*. 2012. 131f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

GOMES, E. P. et al. Análise econômica e viabilidade energética da cultura do feijoeiro comum sob irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 17, n. 8, p. 835-842, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n8/06.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017.

GOTTSCHALL C. S.; SILVA L. R da; TOLOTTI F. Avaliação do desempenho biológico de bovinos de corte terminados sobre pastagens de azevém (*Lolium multiflorum*) e milheto (*Pennisetum glaucum*). *Veterinária em foco*. Canoas. v. 10, n. 2, p. 178-185. Jan./jun., 2013. Disponível em: <<http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/veterinaria/article/view/1138/852>>. Acessado em: 06, dez., 2017.

HERINGER, I.; CARVALHO, P. C. de F. Ajuste da carga animal em experimentos de pastejo uma nova proposta. *Ciência Rural*. v. 32, n. 4, p. 675-679, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v32n4/a21v32n4.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000400021>.

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. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/07BC8B762364>>. Acessado em: 11, ago., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11763>.

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. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/571/pdf_330>. Acessado em: 18, jul., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v11n100571>.

- MANETTI FILHO J.; HERNANDEZ F. B. T.; CORAMORI P. H. Engorda de novilhas com pasto irrigado no interior de São Paulo. *XXII CONIRD*. Cascavel. 2012.
- MANNOCCHI B. F.; MECARELLI P. Optimization Analysis of Deficit Irrigation Systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 1994, 120(3), p. 484-503.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. *Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças*. 2. ed. Circular Técnica 11. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20 p.
- MARTIN D. L.; GILLEY J. R.; SUPALLA R. J. Evaluation of Irrigation Planning Decisions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 1989, 115(1), p. 58-77.
- MARTINS J. D.; PETRY M. T.; RODRIGUES G. C.; CARLESSO R. Viabilidade econômica da irrigação deficitária em milho irrigado por gotejamento. *Revista Irriga*. Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 150-165, 2016. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1865/1437>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p150-165>
- MILLAR, A. A. *Drenagem de terras agrícolas*. Petrolina: Sudene, 1974. 164 p.
- MONTAGNER D. B.; ROCHA M. G. da; SANTOS D. T. dos; GENRO T. C. M.; QUADROS F. L. F. de; ROMAN J.; POTTER L.; BREMM C. Manejo da pastagem de milho para recria novilhas de corte. *Ciência Rural*. Santa Maria, v.38, n.8, p. 2293-2299, nov, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n8/a31v38n8.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017.
- MOOJEN, E. L. et al., Produção animal em pastagem de milho sob diferentes níveis de nitrogênio. *Pesquisa agropecuária brasileira*. Brasília, v. 34, n. 11, p. 2145 - 2149, nov. 1999. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/101092/1/pab20096.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017.
- NATIONAL RESEARCH CONCIL. *Nutrient requeriments of beef cattle*. 6.ed. Washington: National Academy of Science, 1984. 90p.
- OLIVEIRA, E. M. de; OLIVEIRA FILHO, J. da C.; OLIVEIRA, R. A. de; OLIVEIRA, R. M. de; CECON, P. R.; CÓSER, A. C. Efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio e potássio na produção do capim Tanzânia. *Revista Ambiente e Água*. Taubaté, v.10, n.3, jul./set. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v10n3/1980-993X-ambiagua-10-03-00698.pdf>>. Acesso em: 22, set., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993X>.
- PACHECO, R. P. et al. Características produtivas de pastagens de milho ou capim sudão submetidas ao pastejo contínuo de vacas para o abate. *Ciência animal brasileira*, v. 15, n. 3, p. 266 - 276, jul./set. 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cab/v15n3/a04v15n3.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-6891v15i324387>.
- PINHEIRO, V. D. *Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim-tanzânia em diferentes regiões do Brasil*. 2002. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior e Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

- POMPEU R. C. F. F.; ANDRADE I. R. A. de; SOUZA H. A. de; GUEDES F. L.; OLIVEIRA L. S. TONUCCI R. G.; MARTINS E. C.; *Produtividade e Custos de Produção de Silagem para Alimentação de Ovinos a Partir de Sorgo, Milheto e Girassol - Safra 2013*. Circular Técnica 44. EMBRAPA. Sobral. 2014. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990036/1/CT44.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017.
- RESTLE J.; ROSO C.; AITA V.; NORBERG J. L.; BRONDANI I. L.; CERDÓTES L. CARRILHO C. de O. Produção animal em pastagem com gramíneas de estação quente. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Viçosa, v. 31, n. 3, p. 1491-1500, 2002. Suplemento. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v31n3s0/13106.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017.
- RIBEIRO E. G.; FONTES C. A. de. A.; PALIERAQUI J. G. B.; MARTINS C. E.; CÔSER A. C.; SANTANA N. de F. Influência da irrigação durante as épocas seca e chuvosa na taxa de lotação, no consumo e no desempenho de novilhos em pastagens de capim-elefante e capim-mombaça. *Revista brasileira de Zootecnia*. v. 37, n. 9, p. 1546-1554, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v37n9/a05v37n9.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000900005>.
- RICHETTI, A. *Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2014/2015, em Mato Grosso do Sul*. Comunicado técnico 194. EMBRAPA. 2014. Dourados. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105124/1/COT2013194.pdf> >. Acessado em: 06, dez., 2017.
- RIO GRANDE DO SUL. LEI Nº 14.987, DE 3 DE MAIO DE 2017. Dispõe sobre o reajuste dos pisos salariais no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul para as categorias profissionais que menciona, com fundamento na Lei Complementar Federal n.º 103, de 14 de julho de 2000, que autoriza os Estados e o Distrito Federal a instituir o piso salarial a que se refere o inciso V do art. 7.º da Constituição Federal, por aplicação do disposto no parágrafo único do seu art. 22. *Palácio Piratini*. Porto Alegre. 3 de maio de 2017. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/LEI%2014.987.pdf>>. Acessado em: 03, out., 2017.
- RIO GRANDE ENERGIA. *Tarifas, taxas e tributos*. - RGE SUL. Disponível em: <<https://www.rgesul.com.br/clientes-residenciais-comerciais/Paginas/informacoes/tarifas-taxas-tributos.aspx>>. Acessado em: 03, out., 2017.
- SANTA RITA REMATES. *Cotações*. Médias dos últimos 4 remates, separados por categoria. São Sepé, 23 de novembro de 2017. Disponível em: <<http://santaritaremates.com.br/cotacoes.php>>. Acessado em: 23, nov., 2017.
- SANTOS JUNIOR J. L. C. dos; FRIZZONE J. A.; PAZ V. D. da S. Water use optimization through alternative water depths in the Formoso Irrigation District. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*

e Ambiental. Campina Grande. v. 19, n. 7, p. 621–629, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n7/1415-4366-rbeaa-19-07-0621.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p621-629>.

SOARES, J. C. R. et al. Avaliação econômica da terminação de bovinos de corte em pastagem irrigada. *Brazilian Journal of veterinary and Animal Sciences*. v. 67, n. 4, p. 1096 - 1104, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v67n4/0102-0935-abmvz-67-04-01096.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-7340>.

Tabela 1 - Precipitação efetiva (mm), número de irrigações e necessidade de irrigação no período (mm), para as diferentes lâminas de irrigação (% ETo), para a cultura do milho forrageiro, nas safras agrícolas de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Descrição	Tratamento (%Eto)	Safr agrícola						Desvio Padrão
		12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	Média	
Santiago								
Pe		599,90	535,22	577,78	607,74	760,20	616,17	85,30
Ni		8	10	9	7	6	8	2
	25	24,34	44,39	16,85	22,42	24,14	26,43	10,49
	50	48,69	88,77	33,70	44,85	48,28	52,86	20,97
Li	75	73,03	133,16	50,56	67,27	72,41	79,29	31,46
	100	97,38	177,55	67,41	89,70	96,55	105,72	41,94
	125	121,72	221,93	84,26	112,12	120,69	132,14	52,43
Santa Maria								
Pe		570,22	513,94	598,64	612,50	740,32	607,12	83,50
Ni		10	12	8	6	9	9	2
	25	41,27	64,60	32,26	30,15	37,87	41,23	13,79
	50	82,55	129,21	64,53	60,30	75,74	82,46	27,58
Li	75	123,82	193,81	96,79	90,45	113,60	123,70	41,37
	100	165,10	258,41	129,05	120,60	151,47	164,93	55,16
	125	206,37	323,01	161,32	150,75	189,34	206,16	68,95

onde, Pe é a Precipitação efetiva no período (mm), Ni é o número de irrigações necessárias no período e Li é a lâmina de irrigação necessária no período (mm).

Figura 1 – Estimativas de produção de forragem de milho (kg ha^{-1}) e cargas animal ($\text{kg de PV ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), com e sem irrigação, para as lâminas de irrigação de 0, 25, 50, 75, 100 e 125 % ETo, nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

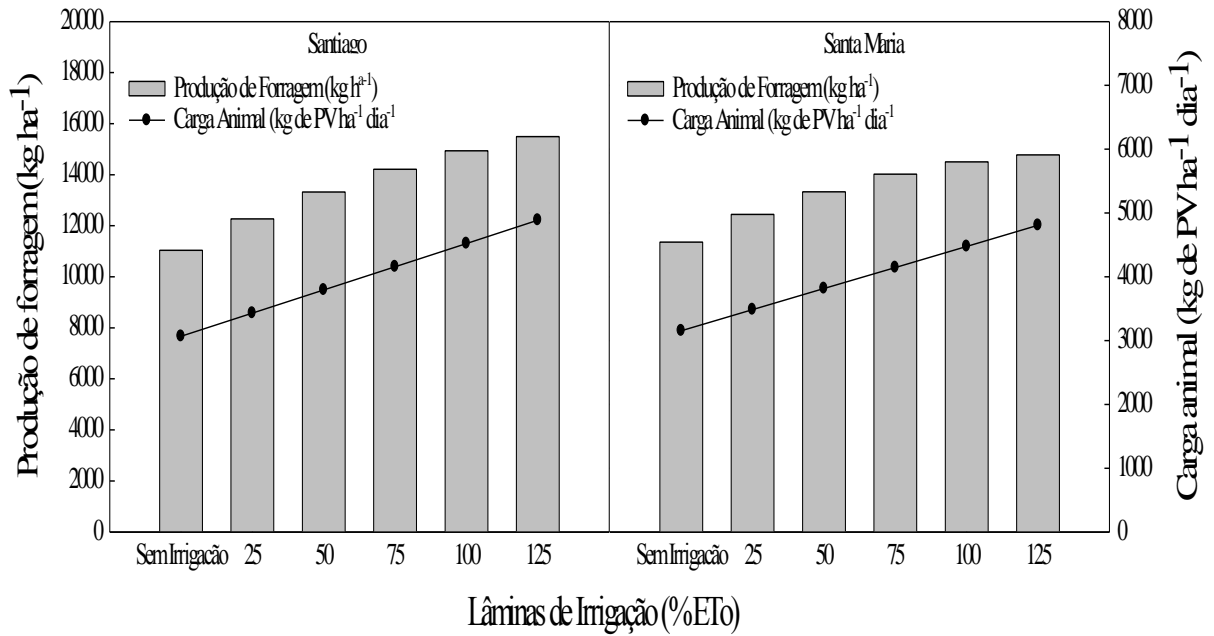


Tabela 2 – Composição dos custos relacionados aos sistemas produtivos, com e sem irrigação, para as safras agrícolas de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 com as lâminas de irrigação de 25, 50, 75, 100 e 125 % ETo, nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Componente	Lâmina de Irrigação (%ETo)	Santiago					Santa Maria				
		Safrá agrícola					Safrá agrícola				
		12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17
Custo Fixo não relacionado a irrigação – CFNRI											
CFNRI	Com e sem Irrigação	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00
Custo Fixo relacionado ao sistema de irrigação – CFRI											
CD	Todas*	226,85	226,85	226,85	226,85	226,85	226,85	226,85	226,85	226,85	226,85
CJ	Todas*	170,14	170,14	170,14	170,14	170,14	170,14	170,14	170,14	170,14	170,14
CSe	Todas*	49,62	49,62	49,62	49,62	49,62	49,62	49,62	49,62	49,62	49,62
CFRI	Todas*	446,61	446,61	446,61	446,61	446,61	446,61	446,61	446,61	446,61	446,61
Custo variável relacionado a irrigação – CVRI											
CvE	25	17,73	32,33	12,27	16,33	17,58	30,06	47,05	23,50	21,96	27,58
	50	35,46	64,66	24,55	32,66	35,16	60,12	94,11	47,00	43,92	55,16
	75	53,19	96,99	36,82	49,00	52,74	90,18	141,16	70,50	65,88	82,74
	100	70,93	129,31	49,10	65,33	70,32	120,25	188,21	94,00	87,84	110,32
	125	88,66	161,64	61,37	81,66	87,90	150,31	235,27	117,49	109,80	137,90
CvMo	Todas*	128,20	160,25	144,22	112,17	96,15	160,25	192,30	128,20	96,15	144,22
CvMan	25	74,56	76,02	74,01	74,42	74,54	75,79	77,49	75,13	74,98	75,54
	50	76,33	79,25	75,24	76,05	76,30	78,79	82,19	77,48	77,17	78,30
	75	78,10	82,48	76,46	77,68	78,06	81,80	86,90	79,83	79,37	81,06
	100	79,87	85,71	77,69	79,32	79,81	84,81	91,60	82,18	81,57	83,81
	125	81,65	88,95	78,92	80,95	81,57	87,81	96,31	84,53	83,76	86,57
CVRI	25	220,49	268,59	230,51	202,92	188,27	266,10	316,84	226,83	193,09	247,34
	50	239,99	304,15	244,01	220,89	207,61	299,17	368,60	252,68	217,24	277,68
	75	259,49	339,71	257,51	238,85	226,95	332,23	420,35	278,53	241,40	308,02
	100	279,00	375,28	271,01	256,82	246,29	365,30	472,11	304,38	265,56	338,36
	125	298,50	410,84	284,51	274,78	265,62	398,37	523,87	330,22	289,71	368,70

onde, CFNRI é o custo fixo não relacionado ao sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹), CFRI é o custo fixo relacionado ao sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹), CD é o custo fixo da depreciação do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹), CJ é o custo fixo do juro sobre o capital investido (R\$ ha⁻¹), CSe é o custo fixo do seguro do investimento (R\$ ha⁻¹), CVRI é o custo variável relacionado ao sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹), CvE é o custo variável da energia elétrica (variável conforme a lâmina de irrigação) (R\$ ha⁻¹), CvMo é o custo variável da mão-de-obra (variável conforme o número de irrigações) (R\$ ha⁻¹) e CvMan é o custo variável da manutenção (variável conforme o custo com a energia) (R\$ ha⁻¹). * Custo variável igual para todas as lâminas de irrigação, na safra agrícola.

Tabela 3 – Custos de produção da tonelada de forragem de milho (R\$ ton⁻¹) dos diferentes sistemas produtivos, com e sem irrigação, para as safras agrícolas de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 e para as lâminas de irrigação de 25, 50, 75, 100 e 125 % ETo, nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Lâmina de irrigação (% ETo)	Safr agrícola						Desvio Padrão
	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	Média	
Santiago							
Sem Irrigação	181,16	181,16	181,16	181,16	181,16	181,16	0,00
25	217,43	221,35	218,25	216,00	214,80	217,57	2,50
50	201,62	206,44	201,92	200,19	199,19	201,87	2,78
75	190,36	196,00	190,22	188,90	188,07	190,71	3,11
100	182,45	188,89	181,91	180,96	180,26	182,90	3,46
125	177,17	184,42	176,26	175,64	175,05	177,71	3,83
Santa Maria							
Sem Irrigação	176,12	176,12	176,12	176,12	176,12	176,12	0,00
25	217,97	222,05	214,82	212,11	216,47	216,68	3,71
50	205,95	211,16	202,46	199,81	204,34	204,74	4,25
75	198,25	204,53	194,42	191,77	196,52	197,10	4,81
100	193,93	201,29	189,72	187,05	192,07	192,81	5,40
125	192,48	200,97	187,87	185,13	190,47	191,39	6,03

Figura 2 – Ganho de peso vivo (kg de PV ha⁻¹), custo fixo (CFNRI + CFRI) (R\$ ha⁻¹), custo total (CFNRI + CFRI + CVRI) (R\$ ha⁻¹) e receita bruta (R\$ ha⁻¹), médios das safras agrícolas, para cada tratamento, nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

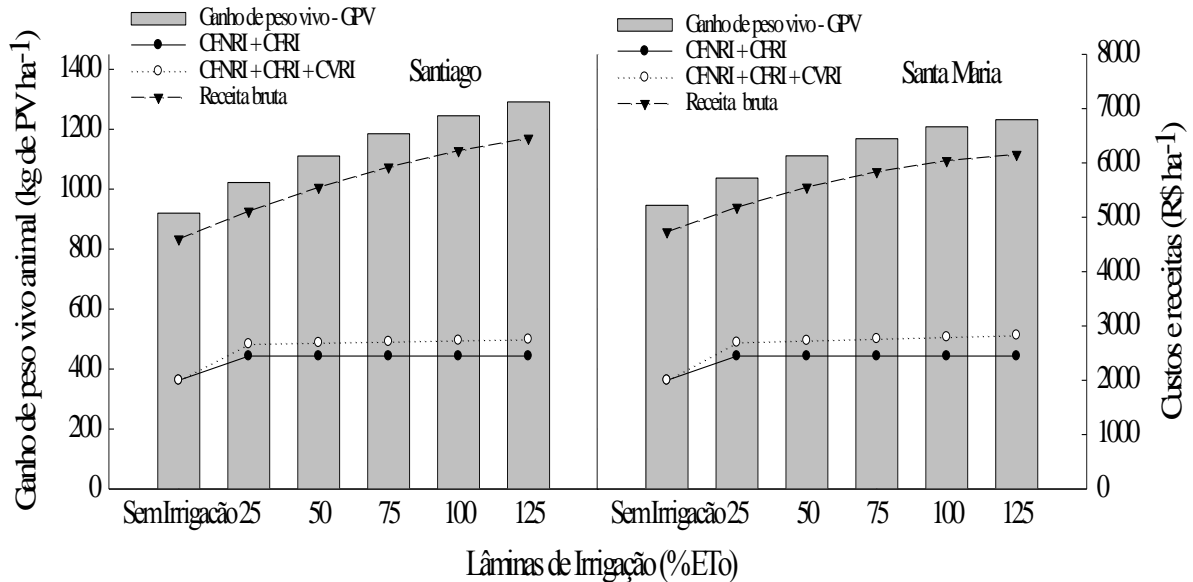


Tabela 4 – Expectativa de lucro por hectare (R\$ ha⁻¹) dos diferentes sistemas produtivos e relação benefício/custo, média das safras agrícolas, com e sem irrigação, para as safras agrícolas de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 e para as lâminas de irrigação de 25, 50, 75, 100 e 125 % ETo, nas regiões de Santiago e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Lâmina de irrigação (% ETo)	Safrá agrícola							Desvio Padrão	Relação B/C Média
	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	Média			
Santiago									
Sem Irrigação	2.600,02	2.600,02	2.600,02	2.600,02	2.600,02	2.600,02	0,00	2,30	
25	2.459,99	2.411,88	2.449,97	2.477,55	2.492,20	2.458,32	30,61	1,93	
50	2.881,58	2.817,42	2.877,56	2.900,68	2.913,96	2.878,24	37,05	2,08	
75	3.233,28	3.153,06	3.235,26	3.253,92	3.265,83	3.228,27	44,16	2,20	
100	3.515,08	3.418,80	3.523,07	3.537,26	3.547,79	3.508,40	51,65	2,29	
125	3.726,99	3.614,65	3.740,98	3.750,70	3.759,86	3.718,64	59,39	2,36	
Santa Maria									
Sem Irrigação	2.731,64	2.731,64	2.731,64	2.731,64	2.731,64	2.731,64	0,00	2,37	
25	2.488,83	2.438,09	2.528,10	2.561,84	2.507,58	2.504,89	46,12	1,93	
50	2.825,37	2.755,94	2.871,85	2.907,29	2.846,85	2.841,46	56,70	2,05	
75	3.077,69	2.989,56	3.131,39	3.168,52	3.101,90	3.093,81	67,43	2,13	
100	3.245,79	3.138,97	3.306,71	3.345,53	3.272,73	3.261,95	78,25	2,17	
125	3.329,67	3.204,16	3.397,81	3.438,32	3.359,34	3.345,86	89,12	2,19	

6 DISCUSSÃO GERAL

Conforme observado na caracterização físico-hídrica dos solos das áreas de estudo (Santiago e Santa Maria), as capacidades reais de água no solo (CRA) até a profundidade de 50 cm são semelhantes, com valores de 38,9 mm e 38,6 mm, respectivamente. Valores estes que possibilitaram mesmo turno de rega (TR) entre as irrigações (Tabela 3.2.3b).

Durante os ciclos de produção de forragem de milheto, nas safras agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016 observou-se precipitações efetivas de 638,54 mm e 624,82 mm, respectivamente. Precipitações estas que são superiores às normais climatológicas das regiões de estudo, uma vez que são de 465,3 mm e 426,7mm. Tal fato indica que pode haver safras com menores volumes de chuva, o que causaria reduções na produtividade da forrageira.

As distribuições das precipitações durante os períodos de condução da cultura não foram homogêneas, com períodos de estiagem que demandaram irrigações. No experimento de 2014/2015 foram aplicados 141,37 mm de água no tratamento 100 % da ETo, os quais foram distribuídos em 7 (sete) eventos de irrigação, como pode ser observado. No experimento de 2015/2016 foram aplicados 117,46mm de água no tratamento 100 % da ETo, os quais foram distribuídos também em 7 (sete) eventos de irrigação. Tardin et al. (2013) atribuem ao estresse hídrico, ocasionado por períodos de estiagem, a queda de produtividade de forrageiras. Já Cunha et al. (2008) salientam que a evapotranspiração nas pastagens geralmente excede a precipitação pluvial efetiva em alguns períodos, demandando por irrigação para garantir altos índices de produtividade e rentabilidade.

Em relação à produção de forragem de milheto (kg de MS ha^{-1}) observou-se efeito significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro nas duas safras agrícolas 2014/2015 e 2015/2016. Ajustando-se equações quadráticas com coeficientes de determinação de 95,55 e 93,13 %, respectivamente para as regiões, a máxima eficiência técnica entre os tratamentos foi encontrada, para as duas safras, na lâmina 125 % da ETo com produção de forragem de 15.494,47 e 14.779,50 kg ha^{-1} , produções estas superiores em relação ao tratamento testemunha em 28,75 % e 23,16 %, respectivamente. Produções semelhantes foram encontradas por Heringer e Moojen (2002), em Santa Maria, RS, quando avaliaram a influência de doses de nitrogênio na produção de milheto encontrando produções totais de forragem entre 8862 e 17403 kg ha^{-1} de MS.

Segundo Pereira Filho (2016), o milheto possui resistência ao déficit hídrico, podendo

completar seu ciclo com precipitações inferiores a 300 mm anuais. Porém, para que culturas agrícolas alcancem seus potenciais produtivos não pode existir escassez hídrica ou má distribuição das chuvas (VIVAN et al., 2015). Para Pimentel et al. (2016), a oferta de água é um fator determinante para o desenvolvimento de espécies forrageiras. Antoniel et al. (2016) dizem que o aumento da produção de massa seca em pastagens irrigadas é inquestionável.

A produtividade da água não foi influenciada significativamente pelos tratamentos, sendo observadas médias de 1,86 e 1,69 kg de MS m⁻³ nas safras de 2014/2015 e 2015/2016, respectivamente. Porém nas duas safras agrícolas observou-se incremento de 12,12 e 4,00 % nos tratamentos 100 % da ETo em relação aos tratamentos testemunhas (0 % ETo), indicando maior eficiência no uso da água (EUA) em ambas as safras agrícolas no tratamento 100 % da ETo.

Produtividades da água superiores foram encontrados por Melo (2006), quando em trabalho realizado com as culturas do sorgo e do milho, testando lâminas de irrigação (0, 25, 50, 75 e 100 % da capacidade de campo do solo), com experimento em vasos, obteve, aos 45 dias de crescimento das plantas, maior EUA para as lâminas 25, 50 e 75 % para as duas culturas. Sendo obtido para o milho 4,1 kg de MS m⁻³ na lâmina de 75 %, enquanto na lâmina de 100 % encontrou 2,7 kg de MS m⁻³.

As variações no consumo hídrico diário foram de 5,92 a 4,66 mm dia⁻¹ nas lâminas de 125 e 0 % da ETo, respectivamente, na safra 2014/2015. E, entre 5,51 e 4,46 mm dia⁻¹ nas lâminas de 125 e 0 % da ETo, na safra 2015/2016. Lâminas superiores foram encontradas por Muller et al. (2002) quando observaram consumo máximo de 8 mm.dia⁻¹ aproximadamente, na produção de forragem de capim Mombaça em São Desiderio, BA.

A dinâmica de produção de massa seca acumulada pode ser representada pela equação logística obtida com a média dos valores observados nos tratamentos 125 % da ETo das safras 2014/2015 e 2015/2016. Sendo observado índice de desempenho do modelo ajustado de 0,931, e classificação “Excelente”.

Através da análise das séries históricas foi possível determinar as precipitações efetivas, o número de irrigações e as necessidades hídricas para as diferentes lâminas de irrigação (% ETo). O número de irrigações necessárias para as safras agrícolas variaram de 6 a 10 na região de Santiago e de 6 a 12 na região de Santa Maria. Fato que influenciou nos custos variáveis com mão-de-obra. As necessidades de complementação hídrica (lâmina de irrigação), tendo como base os tratamentos de 125 % da ETo (tratamentos nos quais foram obtidas as máximas eficiências técnicas na produção de forragem), variaram de 84,26 mm a

221,93 mm e 150,75mm a 323,01mm, para as respectivas regiões, influenciando diferentemente no custo variável com energia elétrica e manutenção. Salienta-se que em Santa Maria as variações de necessidades de irrigação foram maiores, com média nos cinco anos de 206,16 mm.

Lâminas de irrigação, superiores foram utilizadas por Dantas et al. (2016), quando encontraram maiores produtividades de *Brachiaria brizantha*, com as lâminas de 267 mm e 269 mm para outono e inverno, respectivamente. Os autores dizem que a irrigação pode proporcionar aumento e estabilidade da produção forrageira. Kirchner et al. (2017), em estudo com a cultura do sorgo forrageiro, na região de Santiago, RS, encontraram demanda evapotranspirativa 563,7 mm e, mesmo com precipitação efetiva de 618,30 mm, houve necessidade de irrigação de 179,4 mm, confirmando a irregularidade da distribuição das precipitações, que causa instabilidade na produção.

As maiores cargas animal que possibilitam maiores quantidades de animais por unidade de área e, conseqüentemente, maiores ganhos de peso vivo foram encontrada nas lâminas 125 % da ETo, onde se obteve maiores produções de forragem para as duas regiões. Comparando os sistemas produtivos que não receberam irrigação com o tratamento de 125 % da ETo, as estimativas de produções de forragem variaram de 11.040,04 a 15.494,47 e 11.355,94 a 14.780,58 kg de MS ha⁻¹, respectivamente, para Santiago e Santa Maria. A carga animal variou de 3.066,68 a 4.304,02 (Santiago) e 3.154,43 a 4.105,72 (Santa Maria) kg de PV ha⁻¹. O comportamento da carga animal em função da disponibilidade hídrica é ascendente, sendo a maior diferença entre as regiões encontrada nas lâminas de 125% da ETo, a qual foi 4,83 % superior na região de Santiago. No entanto, estas diferenças não são expressivas, uma vez que não chegam a 5 %.

Valores de carga animal inferiores foram observadas por Montagner et al. (2008), que avaliando o desempenho de novilhas de corte em pastagens de milheto, obteve valores entre 3.119,9 e 2.541,8 kg de PV ha⁻¹. Também Pacheco et al. (2014) encontraram carga animal inferior, ao avaliar os parâmetros produtivos de pastagens de milheto manejadas em pastejo contínuo com vacas destinadas ao abate, com média de 1.741,1 kg de PV ha⁻¹. Estes valores inferiores podem ser atribuídos a menores produções de forragem encontradas pelos autores.

Na composição dos custos oriundos dos sistemas produtivos. Observa-se que os componentes do custo total que são fixos (CFNRI e CFRI), são iguais, enquanto os componentes do CVRI variam conforme o número de irrigações e a quantidade de reposição das lâminas de irrigações. O menor CVRI foi encontrado na safra agrícola de 2016/2017 na

região de Santiago (R\$ 265,62 por hectare), o que é justificado pela menor quantidade de irrigações (6 irrigações). Já o maior CVRI foi encontrado na safra 2013/2014 em Santa Maria (R\$ 523,87 por hectare), sendo atribuído ao maior número de irrigações (12 irrigações) e pela alta necessidade de irrigação exigida (323,01 mm).

A inclusão do sistema de irrigação aumentou o custo total do sistema produtivo em 13,42 %, em média, sendo a menor variação encontrada de 10,20 %, na safra agrícola 2016/2017, para a região de Santiago e a maior, um acréscimo de 20,76 % na safra agrícola de 2013/2014 na região de Santa Maria. O custo fixo de depreciação do sistema de irrigação utilizado é inferior ao indicado por MAROUELLI e SILVA (2011), que citam R\$ 601,67 ha⁻¹ para sistemas de irrigação convencionais fixos.

Os custos não relacionados à irrigação encontrados neste trabalho são semelhantes aos valores referenciados por Martins et al. (2016), que obtiveram para a cultura do milho irrigado por gotejamento, custos médios anuais de R\$ 2.325,00 ha⁻¹ (total não relacionado a irrigação). Já os custos fixos e os custos variáveis relacionados ao sistema de irrigação, encontrados pelos autores, foram R\$ 1.848,75 ha⁻¹ e R\$ 118,65 ha⁻¹, sendo estes inferiores e superiores, respectivamente aos deste trabalho. Esta diferença pode ser atribuída ao tipo de sistema de irrigação que geralmente possui maior valor de aquisição e menor custo de operação.

Na literatura é possível encontrar custos oriundos de sistemas de produção de forragem bastante altos. Dantas et al. (2017) encontraram custo anual de produção da palma forrageira irrigada de R\$ 7.447,80 ha⁻¹. Pompeu et al. (2014) observaram custos de produção de silagem de milho de R\$ 6.409,90 ha⁻¹.

O custo de produção por tonelada de forragem de milho em Santiago, no sistema produtivo referente à lâmina de 125 % da ETo é o menor, isto porque nesta região encontram-se maiores médias de produção irrigada e menores custos de produção. Comparando o custo médio de cada região, é possível verificar que em Santiago a introdução da irrigação, com a lâmina de 125 % da ETo, causa redução do custo da tonelada de massa seca de forragem produzida (de R\$ 181,16 para R\$ 177,71 ton⁻¹), enquanto que, em Santa Maria há um aumento deste mesmo custo (de R\$ 176,12 para R\$ 191,39 ton⁻¹). O fato do custo da tonelada produzida, sem a introdução da irrigação, em Santa Maria, ser menor, pode ser atribuído à baixa amplitude de produção encontrada nos experimentos de campo para obtenção da função de produção, ocasionada pela grande quantidade de chuvas no período e, também pela maior demanda por irrigação, o que aumenta o CVRI.

As expectativas de lucro por hectare, nas lâminas de 125 % da ETo são superiores às demais. Contudo é interessante destacar que, se a taxa de oferta de forragem for aumentada, considerando maiores perdas ou consumo, para mesmos valores de PV, GMD e valor do quilograma de PV, a expectativa de lucro por hectare será diminuída, podendo até ser negativa.

O peso dos animais também influencia no rendimento do sistema forrageiro, uma vez que se forem utilizados animais mais pesados o número de cabeças a ser alocado por unidade de área será diminuído, resultando em menor ganho por unidade de área. Já, se o GMD ou o preço de venda do PV forem aumentados, maior será o lucro. Gottschall et al. (2013) encontraram GMD de 1,43 kg de PV na terminação de animais machos em pastagens de milheto, ganho este 43 % superior ao utilizado neste trabalho, resultando numa receita bruta superior e de igual proporção.

Na região de Santiago, considerando as simulações de ganho, observou-se ganhos médios de 920 à 1.291 kg de PV ha⁻¹ para os tratamentos sem irrigação e 125 % da ETo, respectivamente. O incremento médio de ganho por unidade de área é de 40 %, quando utilizada a irrigação com este percentual de reposição. Na região de Santa Maria observou-se ganhos médios de 946 à 1.231 kg de PV ha⁻¹, resultando em um incremento de 30 % no ganho de PV.

O ganho de peso vivo no período, encontrado neste trabalho foi superior aos valores encontrados por Restle et al. (2002). Estes autores, avaliando o desempenho de novilhos de corte com diferentes espécies forrageiras, encontraram para a cultura do milheto ganho de 639,9 kg de PV ha⁻¹ em um período de 98 dias, com ganho de peso diário médio, por animal, de 1,19 kg. Esta diferença pode ser atribuída a menor produção de massa seca e maior taxa de oferta encontrada pelos autores, 9.039 kg ha⁻¹ e 6 %, respectivamente.

Ribeiro et al. (2008) encontraram resultados semelhantes, com acréscimo no ganho de peso vivo médio anual de aproximadamente 18 %, sendo as médias de 1.112,5 e 1.312,0 kg ha⁻¹, influenciado pela irrigação, nas culturas do Capim Elefante e Capim Mombaça, nas épocas de seca e chuvosa.

Os custos totais dos sistemas produtivos testados, nas lâminas de 125 % da ETo foram de R\$ 2.737,39 e R\$ 2.812,71 ha⁻¹ para as regiões de Santiago e Santa Maria, respectivamente. Tais custos são superiores aos encontrados por Soares et al. (2015) que, em três diferentes sistemas produtivos irrigados obtiveram custos totais de R\$ 1.626,93, R\$ 2.004,86 e R\$ 2.101,59 ha⁻¹. Estes autores verificaram que o custo médio com energia elétrica

foi de R\$ 308,70 ha⁻¹ e neste trabalho verificou-se valores médios de R\$ 290,78 e R\$ 366,10 ha⁻¹.

O maior lucro médio encontrado foi na região de Santiago com aumento de 43,02 % (Lâmina de 125 % da ETo) em relação ao sistema produtivo sem irrigação, visto que foi a condição com maior produção forrageira e também menores custos variáveis relacionados à irrigação. Na região de Santa Maria encontrou-se aumento do lucro de 22,49 % para a média das cinco safras.

Azevedo e Saad (2009) também encontraram viabilidade econômica da irrigação em pastagens para nove de dez cidades do Brasil, sendo a maior receita líquida encontrada na cidade de Boa Vista, RR, com R\$ 735,85 ha⁻¹. Entretanto, na cidade de Sete Lagoas, MG, foi encontrada uma receita negativa de R\$139,22 ha⁻¹, valores anuais.

Faria et al. (2015), comparando diferentes sistemas de recuperação de pastagens na pecuária leiteira, no Município de Bambuí, Minas Gerais, afirmam que existe viabilidade na integração lavoura pecuária-floresta, com saldo positivo de R\$ 11.269,70 ha⁻¹, enquanto que os sistemas integração lavoura pecuária e pastagem monocultivo não são viáveis com saldos negativos de R\$ 2.766,40 e R\$ 3.143,80 ha⁻¹, respectivamente (valores referentes a um período de 12 anos).

Resultados inferiores também foram encontrados por Manetti Filho et al. (2012) que, ao avaliar o retorno econômico da engorda de novilhas em pastagem irrigada, encontraram retorno bruto de R\$ 1.960,00 ha⁻¹ com custo de produção de R\$ 1.375,89 ha⁻¹ obtendo renda líquida de R\$ 584,11 ha⁻¹, considerando um período de 140 dias.

Para região de Santiago observou-se melhor relação benefício/custo no tratamento 125% ETo com lucro de R\$ 2,36 para cada R\$ 1,00 investido. Na região de Santa Maria observou-se R\$ 2,19, para mesma lâmina de reposição, sendo o maior valor encontrado de R\$ 2,37, no tratamento sem irrigação, o qual foi mais eficiente economicamente. Valores semelhantes foram encontrados por Montagner et al. (2008) que encontraram, na recria de novilhas com pastagens de milheto, relação benefício/custo entre 3,3 e 2,6.

Alves Junior et al. (2015) também comprovam que existe viabilidade econômica na utilização da irrigação, ao encontrarem com irrigação por pivô central, nas culturas da soja, milho e tomate relação benefício/custo média de 2,10. Andrade et al. (2014) encontraram resultados inferiores, com relações entre 1,00 e 1,12, quando avaliaram o desempenho produtivo e econômico de ovinos.

7 CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, pode-se concluir que:

- A produção de forragem de milho é suscetível a déficits hídricos, dentre as lâminas testadas a de 125 % da evapotranspiração de referência apresentou maiores produções, nas duas safras agrícolas;

- As lâminas de irrigação não influenciaram na produtividade da água;

- As demandas hídricas das diferentes safras agrícolas e regiões estudadas são variáveis e influenciam nos custos variáveis da irrigação.

- A inclusão da técnica da irrigação no sistema produtivo forrageiro aumentou o custo total, em média, em 13,42 %.

- Conforme as variáveis estudadas, a irrigação por aspersão convencional fixa é viável economicamente, aumentando o retorno econômico em 43,03 % e 22,49 %, para as regiões de Santiago e Santa Maria, respectivamente.

- As relações benefício/custo dos sistemas produtivos testados foram influenciadas pelos incrementos de produção e pelos custos de produção e indicam que todos os sistemas testados apresentam retorno positivo.

A rentabilidade de sistemas forrageiros irrigados depende da eficiência agrônômica e zootécnica da empresa rural, devendo o produtor aumentar não só a produção de forragem, mas também obter uma alta eficiência na conversão da massa seca em peso animal.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (Brasil). **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2014. 80 p.
- Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília: ANA, 2017. 169p.
- ALLEN, R. G. et al. **Evapotranspiración del cultivo : Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006. 299 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 56).
- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)
- ALMEIDA, E. L. D. **Irrigação de plantas forrageiras tropicais e sorgo granífero na região do Arenito Caiuá – Paraná**. 2011. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.
- AMUDHA, J.; BALASUBRAMANI, G. Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in crop plants. **Biotechnology and Molecular Biology Reviews**, v. 6, n. 2, p. 31-58, 2011.
- ARAÚJO, A. A. Forragens de verão e outono. **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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES – ABIEC. **Pecuária brasileira**. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/3_pecuaria.asp>. Acesso em: 13 out. 2015.
- 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.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BISCARO, G. A. **Sistemas de irrigação por aspersão**. Dourados. Editora da UFGD, 2009. 134p.
- BOGDAN, A. V. **Tropical pasture and fodder plants: grasses and legumes**. London: Logman, 1977. 475p.
- BRANDÃO, V. dos S. et al. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120p.
- BRONER B. I.; LAMBERT J. Optimal scheduling of irrigation machines. I: Model development. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v. 115(5), p. 862-879, 1989.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB**. Brasília: CONAB, 2010. 60 p.
- CORSI, M.; SILVA, S. C.; FARIA, V. P. Princípios de manejo do capim-elefante sob pastejo. **Informe Agropecuário**, v. 19, n. 192, p. 36-43, 1998.

- 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.
- CUNHA, F. F. et al. Características morfogênicas e perfilamento do *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 628-635, 2007.
- CUNHA, R. P. da, et al. Avaliação de gramíneas forrageiras anuais de verão na região da Campanha do RS. In: Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 1. n. 1. 2009, Bagé. **Anais eletrônicos**. Bagé: UNIPAMPA, 2009. Disponível em: <<http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/5429>>. Acesso em 13 out. 2015.
- DA COSTA, V. G. et al. Comportamento de pastejo e ingestão de forragem por novilhas de corte em pastagens de milheto e papuã. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 2, p. 251-259, 2011.
- DE MATTOS, J. L. S. et al. Crescimento de espécies do gênero brachiaria, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 746 - 754, 2005.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: FAO, 1994 (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. FAO. Irrig. and Drain. Paper 33, 1979, 193p.
- DOURADO NETO, D. et al. **Manejo da irrigação de pastagens**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 19º Piracicaba. Anais do 19º Simpósio sobre Manejo de Pastagens. Piracicaba: FEALQ, p. 189-26, 2002.
- DRUMOND, L. C. D. **Aplicação de água residuária de suinocultura por aspersão em malha: desempenho hidráulico e produção de matéria seca de Tifton 85**. 2003, 102f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.
- DRUMOND, L. C. D.; AGUIAR, A. P. A. **Irrigação de pastagem**. Uberaba: LCD Drumond, 2005. 210 p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 225 p.
- FAOSTAT, **Statistical Database 2007**. Roma, 2009.
- FAOSTAT, **Statistical Database 2007**. Roma, 2015.
- FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. **Cafecultura empresarial: produtividade e qualidade - irrigação na cafeicultura**. 1997. 110 p. Especialização (Curso de Especialização Lato Sensu por Tutoria a Distância)-UFLA/FAEPE, Lavras, 1997.
- FARSUL. **A importância e desafios da agricultura na economia Regional: A agricultura é importante para o crescimento e desenvolvimento econômico ou é apenas fornecedora de alimentos?**. 2015. Disponível em: <http://www.farsul.org.br/arquivos/estudo_competitividade.pdf>. Porto Alegre: Sistema FARSUL. Acesso em: 10 ago. 2015.
- FERNANDES, A. M. et al. Composição químico-bromatológica de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. L.) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 977-985, 2003.

FERNANDES, L. M. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região noroeste de minas gerais. **Informações Econômicas**. São Paulo, v. 42, n. 1, 2012.

FERREIRA, D. F. **SISVAR- Sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, p.19, 1988.

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 – Geadas é o Limite!. **SeedQuest**, Brasil, 8 fev. 2008. Disponível em: <<https://www.seedquest.com/News/releases/2008/february/21700.htm>>. Acesso em: 13 out. 2015.

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

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.

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

FURLANETO, F. P. B.; ESPERANCINI, M. S. T. Custo de produção e indicadores de rentabilidade da cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 297- 303, 2010.

GARGANTINI, P. E. et al. Irrigação e adubação nitrogenada em capim mombaça na região oeste do estado de são paulo. **XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**. Teresina. 2005. Disponível em: <ftp://ftp.feis.unesp.br/agr/pdf/conird2005_gargantini.pdf>. Acessado em: 01 fev. 2016.

GLIENKE, C. L. **Estudo da recria de novilhas em corte em pastagens cultivadas de verão**. 2012, 131 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

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

HERINGER, I.; CARVALHO, P. C. de F. Ajuste da carga animal em experimentos de pastejo uma nova proposta. **Ciência Rural**, v. 32, n. 4, p. 675-679, 2002.

HERINGER, I.; MOOJEN, E. L. Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milheto submetida a diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 875-882, 2002.

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. Disponível em: <https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/66/aba49c540b50dfbab84d181c1b5532bb_6ca99cc542d8effbe013d17fa6317039.pdf>. Acessado em: 27, dez., 2017.

KIRCHNER, J. H. et al. 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. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/07BC8B762364>>. Acessado em: 11, ago., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11763>.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: EDIUPF, 2014. 240 p.

- KOETZ, M. et al. 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. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/571/pdf_330>. Acessado em: 18, jul., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v11n100571>.
- LANDAU, E. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do Milheto**. 2.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, set., 2010. Sistema de produção 3. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milheto_2_ed/clima.htm>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- LEMO, R. C. de.; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3. ed. Campinas, SP. 1996. p. 83.
- LOPES, M. P. C.; MELLO, J. L. P.; CRUZ, F. A. de O. Irrigação de pastagem: análise da percepção do produtor. **Vivências: Revista eletrônica de extensão da URI**. Erechim, v. 9, n. 16, p. 172-181, Maio, 2013. Disponível em: <http://www.reitoria.uri.br/~vivencias/Numero_016/artigos/pdf/Artigo_18.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2015.
- MACHADO, L. A. Z. et al. Desempenho de animais alimentados com lâminas foliares, em pastagem de capim-marandu. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1609 - 1616, nov., 2008.
- MANNOCCHI B. F.; MECARELLI P. Optimization Analysis of Deficit Irrigation Systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. 1994, 120(3), p. 484-503.
- MARCANTE, N. C.; CAMACHO, M. A.; PAREDES, F. P. J. Teores de Nutrientes no milheto como cobertura de solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 196 - 204, mar./abr., 2011.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. 2. ed. Circular Técnica 11. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20 p.
- MARTIN D. L.; GILLEY J. R.; SUPALLA R. J. Evaluation of Irrigation Planning Decisions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. 1989, 115(1), p. 58-77.
- MATZENAUER, R. et al. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995.
- MELO D. A. de. AVALIAÇÃO DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) E MILHETO (*Pennisetum glaucum*(L.) R. BROWN) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO. **Dissertação**. (Mestrado em Zootecnia). Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande. Patos.2006.
- MENDONÇA, C.; SOUSA, E. F. de; BERNARDO, S. Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.
- MENDONÇA, F. de C. et al. **Dimensionamento de sistemas de irrigação para pastagens em propriedades de agricultura familiar**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, dez., 2007. Disponível em: <<http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPE/17546/1/Boletim10.pdf>>. Acessado em: 27 de jan. 2016.

- 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.
- MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas**. Petrolina: Sudene, 1974. 164 p.
- MOOJEN, E. L. et al., Produção animal em pastagem de milheto sob diferentes níveis de nitrogênio. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v. 34, n. 11, p. 2145 - 2149, nov., 1999.
- MORAES, A. D.; MARASCHIN, G.E. Pressões depastejo e produção animal em milheto cv. comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 197-205, fev., 1988.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Secretária da Agricultura, Porto Alegre, Brasil, 1961. 42p.
- 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.
- NASCIMENTO, G. B. et al. Determinação da classe textural de amostras de terra através de planilha eletrônica. **Revista Universitária Rural**, Seropédica, v. 23, n. 1, p. 27, 2003.
- NETTO, D. A. M. **A cultura do milheto**. Comunicado Técnico 11. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1998. 6 p.
- OLIVEIRA, E. M. de. et al. Efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio e potássio na produção do capim Tanzânia. **Revista Ambiente e Água**. Taubaté, v.10, n.3, jul./set., 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2015000300698&lng=pt&nrm=iso> Acesso em: 13 out. 2015.
- ORTH, R. et al. Produção de forragem de gramíneas anuais semeadas no verão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1535-1540, 2012.
- PACHECO, R. P. et al. Características produtivas de pastagens de milheto ou capim sudão submetidas ao pastejo contínuo de vacas para o abate. **Ciência animal brasileira**, v. 15, n. 3, p. 266 - 276, jul./set., 2014.
- PAIVA, E. A. A. **Meiose em híbridos hexaplóides de capim elefante e milheto**. 2006. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- PALIERAQUI, J. G. B. et al. Influência da irrigação sobre a disponibilidade, a composição química, a digestibilidade e o consumo dos capins Mombaça e Napier. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 6, p. 2381-2387, 2006.
- PEREIRA FILHO, I. A. et al. **Cultivo do Milheto**. 1.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, set. 2009. Sistema de produção 3. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milheto_1_ed/index.htm#topo>. Acesso em: 12 nov., 2015.
- PEREIRA FILHO, I. A. et al. **Manejo da cultura do milheto**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, dez., 2003. Circular Técnica 29. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2003/circular/Circ_29.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2016.

- PINHEIRO, V. D. **Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim-tanzânia em diferentes regiões do Brasil**. 2002. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior e Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- PORTAL PLANALTO. In: Responsável por 23 % do PIB, Plano Safra impulsiona agropecuária. Brasil: Palácio do Planalto Presidência da República, 2015. Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/noticias/2015/06/responsavel-por-23-do-pib-plano-safra-impulsiona-agropecuaria>>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- POTTER, L.; LOBATO, J. F. P.; MIELITZ NETTO, C. G. A. Análise econômica de modelos de produção com novilhas de corte primíparas aos dois, três e quatro anos de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 3, p. 861 - 870, 2000.
- PUPO, N. I. H. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação, utilização**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979. 343 p.
- 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.
- RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo. Informação Tecnológica, 2003. 317 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.
- RICHETTI, A. **Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2014/2015**, em Mato Grosso do Sul. Julho, 2014 Dourados, MS. Comunicado técnico 194.
- RIO GRANDE ENERGIA. **Tarifas, taxas e tributos**. - RGE SUL. Disponível em: <<https://www.rgesul.com.br/clientes-residenciais-comerciais/Paginas/informacoes/tarifas-taxas-tributos.aspx>>. Acessado em: 03, out., 2017.
- SANTA RITA REMATES. **Cotações**. Médias dos últimos 4 remates, separados por categoria. São Sepé, 23 de novembro de 2017. Disponível em: <<http://santaritaremates.com.br/cotacoes.php>>. Acessado em: 23, nov., 2017.
- SANTOS JUNIOR J. L. C. dos; FRIZZONE J. A.; PAZ V. D. da S. Water use optimization through alternative water depths in the Formoso Irrigation District. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 19, n. 7, p. 621–629, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n7/1415-4366-rbeaa-19-07-0621.pdf>>. Acessado em: 06, dez., 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p621-629>.
- SENTELHAS, P. C. et al. Evaluation of the WGEN and SIMMETEO weather generators for the brazilian tropics and subtropics, using crop simulation models. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 357-376, 2001.
- SILVA, K. da F. et al. Parâmetros biométricos e clorofila de cultivares de milho em função de lâminas de irrigação, cultivados em solo degradado. **III INOVAGRI**. Fortaleza, 2015. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130603/1/cnpc-2015-Parametros-biometricos.pdf>>. Acessado em: 31 jan. 2016.

SOARES, F. C. **Análise da viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (*Zea mays L.*)**. 2010. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SOARES, J. C. R. et al. Avaliação econômica da terminação de bovinos de corte em pastagem irrigada. **Brazilian Journal of veterinary and Animal Sciences**. v. 67, n. 4, p. 1096 - 1104, 2015.

SOARES, J. C. R. et al. Avaliação econômica da terminação de bovinos de corte em pastagem irrigada. **Brazilian Journal of veterinary and Animal Sciences**. v. 67, n. 4, p. 1096 - 1104, 2015.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO NÚCLEO REGIONAL SUL. **Manual de adubação e de calagem: para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 394 p.

SOUZA, E. M. Efeitos da irrigação e adubação nitrogenada sobre a produção e matéria seca e qualidade de forragem de cultivares de *Panicum maximum*. **Revista brasileira de zootecnia**. v. 34, n. 4, p. 1146 - 1155, 2005.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS. 2008. 222 p.

TRINDADE, JUNIOR. G. et al. Ganho compensatório de novilhas mestiças suplementadas em pastagens sob avaliação do perfil hormonal e parâmetros sanguíneos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1481-1494, maio/jun., 2015.

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.

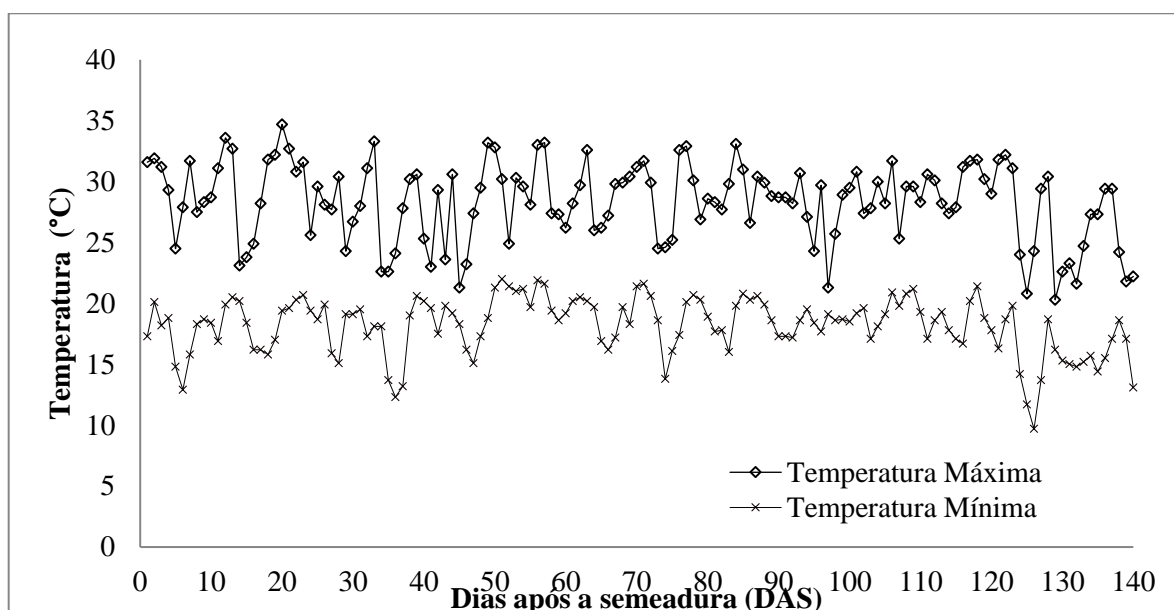
VITAL, A. de F. M.; SANTOS, D.; dos SANTOS, R. V. Características agrônomicas do milho adubado com diferentes fontes orgânicas. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 303-309, 2015.

VIVAN, G. A. et al. 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, set./out., 2015.

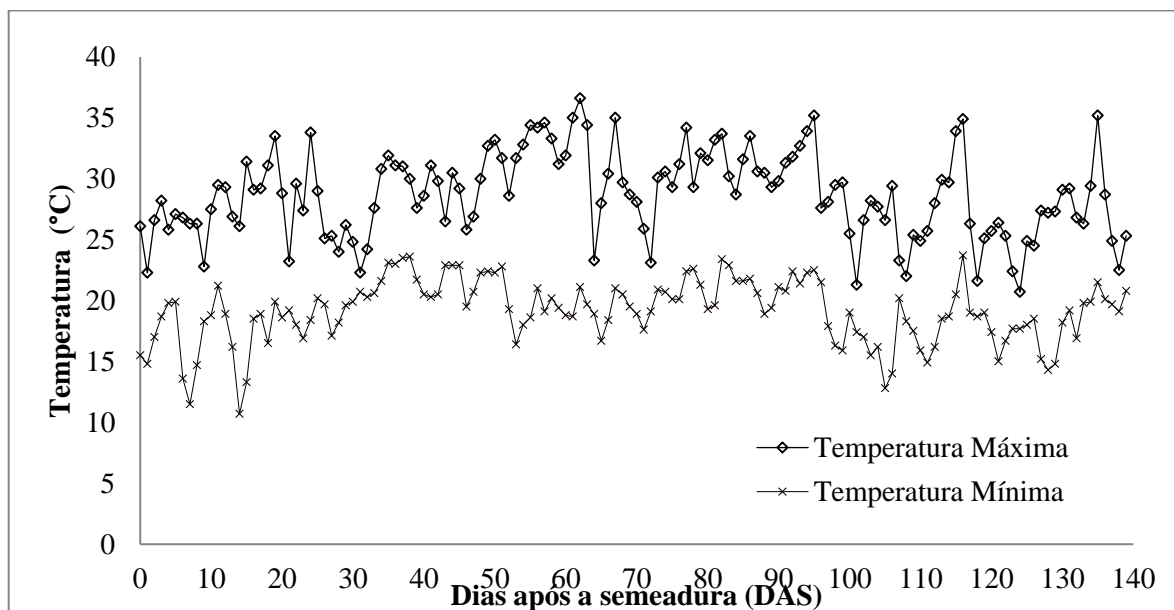
XAVIER, A. C.; LOURENÇO, L. F.; COELHO, R. D. Modelo matemático para manejo da irrigação por tensiometria em pastagem *Panicum maximum* Jacq. rotacionada sob pivô central. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., Piracicaba, 2001. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 249-250.

RIBEIRO E. G. et al. Influência da irrigação, nas épocas seca e chuvosa, na produção e composição **Revista Brasileira de Zootecnia**. química dos capins napier e mombaça em sistema de lotação intermitente. v. 38, n. 8, p. 1432 – 1442, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v38n8/06.pdf>>. Acessado em: 26, Dez., 2017.

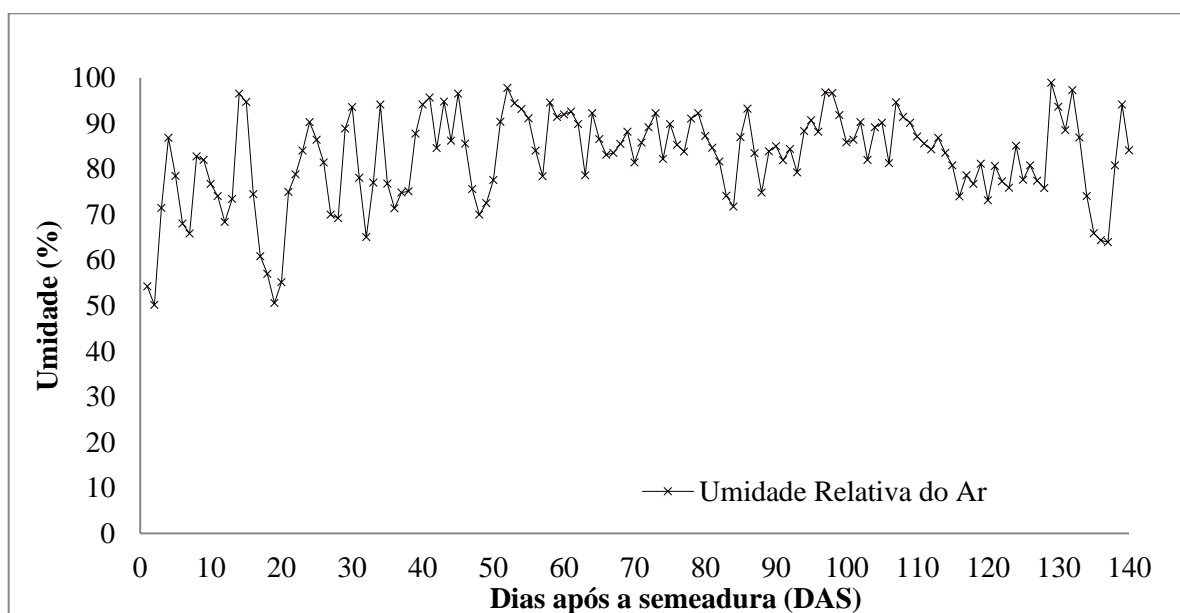
APÊNDICE A – TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA (°C), PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTIAGO, RS.



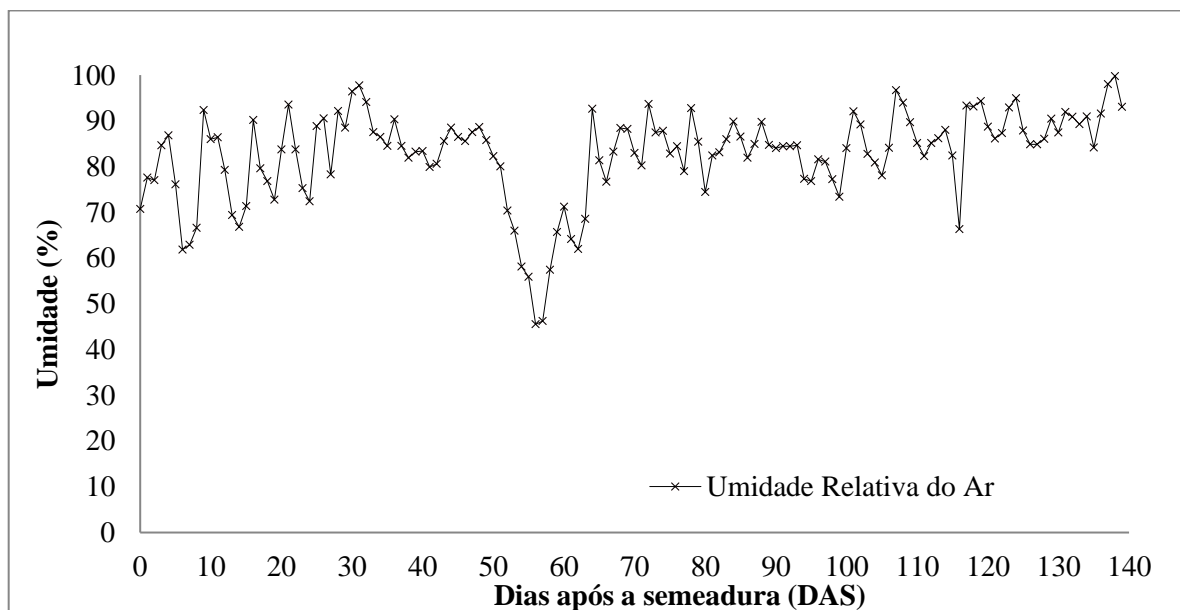
APÊNDICE B– TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA (°C), PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTA MARIA, RS.



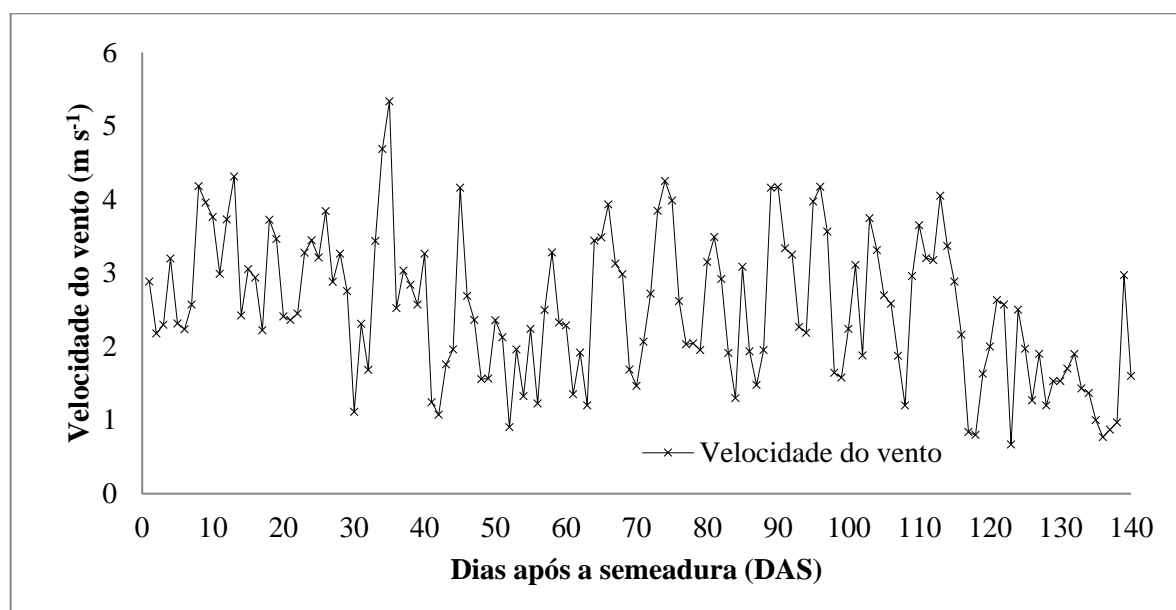
APÊNDICE C – UMIDADE RELATIVA DO AR (%), PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTIAGO, RS.



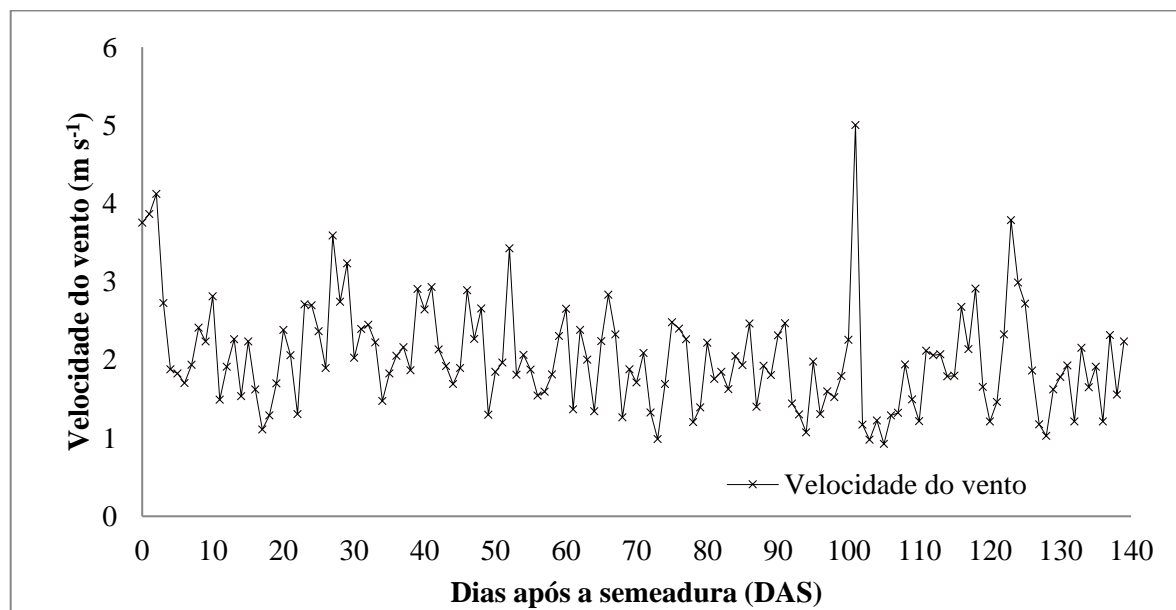
APÊNDICE D – UMIDADE RELATIVA DO AR (%) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTA MARIA, RS.



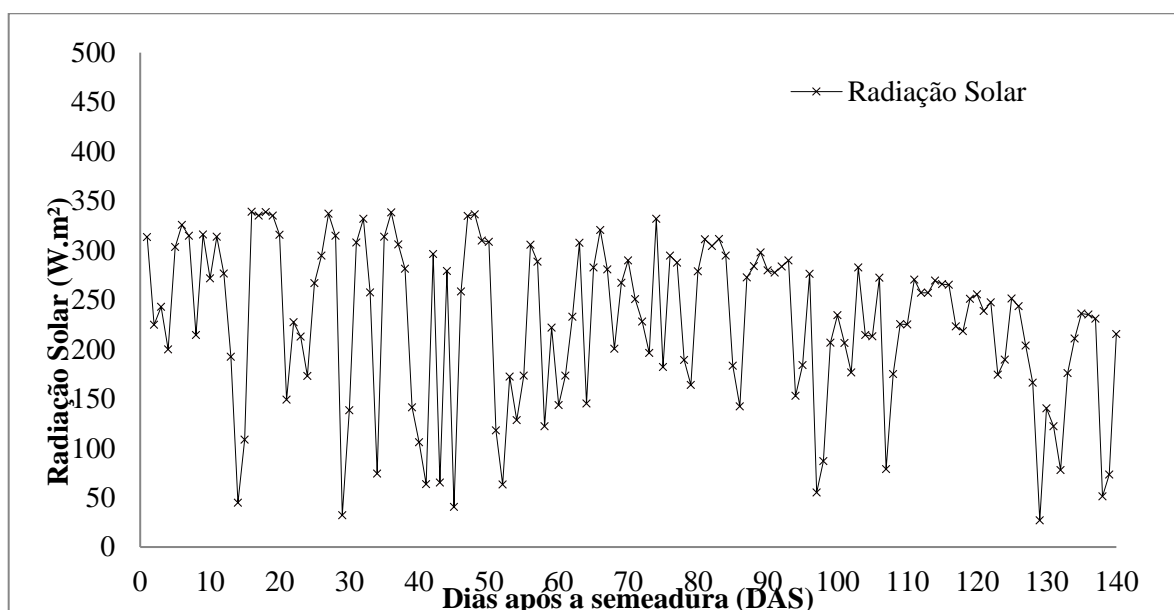
APÊNDICE E – VELOCIDADE DO VENTO ($m s^{-1}$) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTIAGO, RS.



APÊNDICE F – VELOCIDADE DO VENTO ($m s^{-1}$) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTA MARIA, RS.



APÊNDICE G – RADIAÇÃO SOLAR ($W m^{-2}$) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTIAGO, RS.



APÊNDICE H – RADIAÇÃO SOLAR ($W m^{-2}$) PARA O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM SANTA MARIA, RS.

