

IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA PARA AUMENTAR A PRODUTIVIDADE DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE MILHO

JULIANO DALCIN MARTIN¹; REIMAR CARLESSO², NÚBIA PENTIADO AIRES³; JÚLIO CÉSAR GATTO³; VINÍCIUS DUBOU³, HENRIQUE MARTINS FRIES³; RUDOLF BRAND SCHEIBLER⁴.

¹ Eng. Agrônomo, Bolsista CAPES/FCT, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria-RS, Fone: (55) 32208399, julianodalcinmartins@gmail.com.

² Eng. Agrônomo, Ph.D., Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria-RS

³ Graduando do Curso de Graduação em Agronomia, UFSM, Santa Maria-RS

⁴ Zootecnista, Bolsista CAPES/EMBRAPA, mestrando do programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS

1 RESUMO

O incremento da área irrigada e a escassez de recursos hídricos em algumas regiões tem fomentado a utilização de sistemas e manejos de irrigação que aumentem a eficiência do uso da água. A técnica da irrigação deficitária consiste em aplicar deliberadamente lâminas de irrigação inferiores às necessidades hídricas reais da cultura, afetando conseqüentemente a sua produção. Os seus impactos ao nível da produtividade da cultura e dos respectivos resultados econômicos podem ou não ser negativos, dependendo estes do calendário de irrigação adotado. O objetivo desse trabalho foi avaliar a produtividade de água disponibilizada à cultura do milho para a produção de silagem, utilizando diferentes estratégias de manejo de irrigação deficitária e seus efeitos sobre a produtividade e qualidade da silagem. Os resultados demonstram que a produtividade de massa verde e massa seca foram mais elevadas no tratamento de irrigação plena. As estratégias de irrigação deficitária não influenciaram nas variáveis relativas à qualidade da silagem. A maior produtividade da água foi obtida com estratégias de irrigação deficitária, podendo esta ser uma alternativa na gestão de recursos hídricos para aumentar a eficiência do uso da água e ser utilizada em situação com limitação hídrica.

Palavras-Chave: irrigação deficitária; produção de silagem, eficiência do uso da água.

MARTINS, J. D.; CARLESSO, R.; AIRES, N. P.; GATTO, J. C.; V. DUBOU.; FRIES, H. M.; SCHEIBLER, R. B. DEFICIT IRRIGATION IN ORDER TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF WATER USE IN MAIZE SILAGE PRODUCTION

2 ABSTRACT

The increase of irrigated areas and the scarceness of water resources in some regions have fostered the usage of irrigation systems and management strategies that increase water use efficiency. Deficit irrigation consists in deliberately apply irrigation depths smaller than those required to satisfy the crop water requirements, thus affecting its production. Their impacts on crop productivity and its economic results may or may not be negative, depending on the

timing of the irrigation program adopted. The aim of this study was to evaluate the productivity of water available to silage corn using different strategies for deficit irrigation management and its effects on productivity and forage quality. The results showed that the yield of fresh and dry weight were higher in the treatment of full irrigation. The deficit irrigation strategies did not influence the variables on the quality of silage. The highest water productivity was obtained with deficit irrigation strategies, which may be an alternative in the management of water resources to increase efficiency of water use and be used in situations with limited water.

Keywords: deficit irrigation, silage production, water use efficiency.

3 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água é o fator que com maior frequência e intensidade afeta o rendimento da cultura do milho no Rio Grande do Sul. A distribuição irregular de chuvas, durante o ciclo de desenvolvimento da planta, pode explicar muito a variabilidade do seu rendimento ao longo dos anos (Bergamaschi et al., 2007). Entretanto, há um crescente investimento dos produtores em sistemas de irrigação como tentativa de manter a produtividade dos cultivos em períodos de escassez hídrica. Portanto, torna-se importante a determinação da resposta da produtividade à irrigação, para a seleção de culturas, análise econômica, e para a adoção de estratégias eficientes na gestão da irrigação. Em alguns casos a água é um fator limitante, sendo importante planejar o manejo de irrigação para aumentar o rendimento, a eficiência do uso da água, mantendo a viabilidade econômica da atividade.

Agricultores com limitação na quantidade de água para a irrigação, muitas vezes tem que escolher entre opções de destino do uso da água como: reduzir a área irrigada e optar por irrigar totalmente uma cultura ou porção da sua área cultivada; utilizar a irrigação deficitária e irrigar parcialmente seus cultivos, mas com possibilidade de irrigar uma área maior; optar por cultivar culturas com menor exigência hídrica; ou investir em sistemas mais eficientes de irrigação. Determinar a melhor opção não é uma tarefa fácil, uma vez que poderia exigir a análise econômica complexa para maximizar os retornos econômicos (English et al., 2002; Martin et al., 1989). Esta análise depende de uma série de fatores econômicos e biofísicos, entre os quais a produtividade esperada da cultura é uma das informações mais importantes. Para uma determinada região, o rendimento das culturas com irrigação é relativamente estável e, portanto, fácil de estimar o rendimento de uma cultura sob sequeiro e irrigado. Entretanto, para a irrigação com déficit a produtividade pode variar consideravelmente dependendo do manejo de irrigação adotado (Payero et al., 2009).

A gestão dos recursos hídricos em nível da exploração agrícola engloba a adoção de práticas de irrigação apropriadas que conduzam a economia de água. Isso requer a determinação de um calendário de irrigação otimizado para condições de aplicação de volume de água limitado (Pereira et al., 2009a). Se o objetivo do agricultor irrigante, for à maximização da produtividade, a gestão da irrigação implica que se efetuem irrigações necessárias para suprir totalmente as necessidades hídricas das culturas. Entretanto, se o objetivo for maximizar a eficiência do uso da água, pode-se adotar irrigação deficitária controlada, ou seja, irrigar deliberadamente abaixo do nível de máxima produção, que corresponda à máxima eficiência econômica (Pereira et al., 2002).

A irrigação deficitária consiste na aplicação de lâminas inferiores às necessárias para satisfazer às necessidades hídricas da cultura, afetando assim, a evapotranspiração e a

produtividade, entretanto, a redução da produtividade deve ser mínima ao ponto de manter o retorno econômico da cultura irrigada (Kang et al., 2000). No entanto, os impactos da irrigação deficitária sobre a produtividade e suas relações com os resultados econômicos podem ou não ser negativos, dependendo do manejo da irrigação adotado o desempenho do sistema e os custos de produção (Lorite et al., 2007). A noção de irrigação deficitária surgiu com os primeiros trabalhos realizados por (Mitchell et al., 1984), os quais fundamentam a utilização de estratégias de redução da quantidade de água fornecida às culturas em função dos estádios de desenvolvimento da cultura. Assim, o déficit hídrico controlado poderá não afetar a quantidade e a qualidade da produção final, aumentando a eficiência do uso da água.

As investigações sobre a irrigação com déficit hídrico têm permitido um aumento da eficiência do uso da água, pois a adoção de estratégias neste sentido pode ser capaz de reduzir a quantidade de água aplicada, causando um mínimo impacto na produção. Os benefícios potenciais da irrigação com déficit são atribuíveis a três fatores: aumento da eficiência da irrigação, redução dos custos de irrigação e redução de riscos associados aos impactos ambientais (English e Navaid, 1996). Atualmente, existem modelos de produção/água que permitem estimar a produção da cultura em função da água por ela utilizada, fato que tem despertado grande interesse de pesquisas pelo importante papel que podem desempenhar para auxiliar na gestão e otimização de recursos hídricos. Sendo de grande utilidade quando se pretende realizar a gestão da irrigação em condições de déficit hídrico.

Nos critérios tradicionais de manejo de irrigação procura-se à máxima produção agrônômica, independente da quantidade de água utilizada, tendo em vista que a para a maioria das áreas irrigadas no Brasil a água não é um fator limitante e atualmente não entra no custo de produção. Somente os custos relacionados ao seu bombeamento e condução (Paz et al., 2000). Neste contexto, é importante relacionar a produtividade das culturas com o volume de água consumida para esta produção. Introduce-se assim o conceito de produtividade da água, que no caso da irrigação pode ser relacionado ao total de água utilizado pela cultura (precipitação + irrigação) ou somente a água utilizada na irrigação. A conservação e a economia de água desempenham papel fundamental para conviver com períodos de escassez (Pereira et al., 2002), sendo que, a irrigação deficitária pode constituir uma tecnologia apropriada para contribuir com a economia de água, pois a irrigação em excesso leva a um desperdício de água, a um aumento dos custos de produção e a uma gestão inapropriada dos recursos hídricos disponíveis.

A sazonalidade da produção das plantas forrageiras, provocada principalmente por questões climáticas, exige o planejamento e execução de práticas que visem à conservação de forragem para utilização durante períodos críticos (Lupatini et al., 2004). A conservação de forragem, na forma de silagem, é uma alternativa cada vez mais empregada na criação de ruminantes. À medida que a exploração se torna mais tecnificada, a procura de melhores índices zootécnicos e rentabilidade econômica tem levado um grande número de produtores de leite e carne a adotarem sistematicamente essa prática (Demarchi et al., 1995). Na cadeia produtora de leite a planta de milho representa a principal fonte de volumoso sendo a base da alimentação dos mesmos, como fonte de energia e fibra. Neste cenário o custo de produção deste material na forma de silagem apresenta correlação forte e negativa com a lucratividade dos sistemas produtores, sendo importante a avaliação da produtividade e qualidade do material a ser obtido. Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar a produtividade de água disponibilizada à cultura do milho, utilizando diferentes estratégias de manejo de irrigação plena e deficitária sobre a qualidade e produtividade da planta inteira.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2010/2011, em área experimental de irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada na latitude de 29° 43' 40'' S, longitude de 53°43'11'' W e altitude de 100 m. O clima da região é do tipo "Cfa", de acordo com a classificação climática de Köppen. A precipitação pluvial média anual da região varia de 1.322 a 1.769 mm, no entanto, nos meses de verão, devido à maior demanda evaporativa da atmosfera, frequentemente as precipitações pluviais não são suficientes para suprir as necessidades das culturas.

Um experimento com irrigação por aspersão tipo convencional foi conduzido a campo no delineamento experimental inteiramente casualizado, fatorial, com três repetições. As unidades experimentais foram compostas por parcelas de 12x12 metros, sendo a irrigação realizada por aspersores setoriais, com taxa de aplicação de 10 mm h⁻¹ e uma uniformidade de aplicação de 80%. Os tratamentos foram constituídos de três manejos de água de irrigação: A1, Irrigação plena; A2, déficit hídrico leve e A3; déficit hídrico moderado.

As irrigações foram determinadas pela equação:

$$ET_c = (K_c ETo) \quad (1)$$

Sendo: ET_c a evapotranspiração da cultura, K_c o coeficiente de cultivo e ETo a evapotranspiração de referência.

As irrigações foram aplicadas quando a evapotranspiração acumulada da cultura ($ET_c ac$) atingia valores de 25 mm, sendo a $ET_c ac$ calculada como descrito abaixo:

$$ET_c ac = \sum (ET_c \text{ diária}) \quad (2)$$

Sendo a ET_c diária determinada para cada tratamento como segue:

$$A1, \text{ Irrigação completa: } ET_c \text{ diária} = (ET_c) 1 \quad (3)$$

$$A2, \text{ Déficit hídrico leve: } ET_c \text{ diária} = (ET_c) 0,75 \quad (4)$$

$$A3; \text{ Déficit hídrico moderado: } ET_c \text{ diária} = (ET_c) 0,50 \quad (5)$$

As lâminas aplicadas variaram de acordo com o desenvolvimento da cultura. As irrigações foram realizadas dependendo da ocorrência de chuvas. As datas, lâminas de irrigação e a precipitação são apresentadas na (Tabela 1).

Tabela 1. Calendário de irrigação e precipitações para as diferentes estratégias de manejo de irrigação deficitária.

Tratamentos						Chuva	
A1		A2		A3			
Data	(mm)	Data	(mm)	Data	(mm)	Data	(mm)
14/10/10	8	14/10/10	8	14/10/10	8	07/10/10	32,5
18/10/10	8	18/10/10	8	18/10/10	8	14/10/10	9
21/10/10	8	21/10/10	8	21/10/10	8	30/10/10	7
26/10/10	8	26/10/10	8	26/10/10	8	09/11/10	20
03/11/10	9	04/11/10	8	09/11/10	9	22/11/10	7
07/11/10	9	09/11/10	8	31/12/10	12	24/11/10	46
15/11/10	15	14/11/10	12	25/01/11	12	02/12/10	17,7
20/11/10	10	22/11/10	15			03/12/10	67
02/12/10	12	16/12/10	12			11/12/10	6
09/12/10	12	18/12/10	15			12/12/10	18
15/12/10	12	27/12/10	15			13/12/10	2
17/12/10	15	31/12/10	15			19/12/10	35
19/12/10	12	15/01/11	15			24/12/10	4,8
24/12/10	12	19/01/11	15			25/12/10	4,5
27/12/10	12	25/01/11	12			02/01/11	43
29/12/10	12					05/01/11	10
31/12/10	12					08/01/11	11
09/01/11	12					12/01/11	10
14/01/11	12					17/01/11	4
19/01/11	23					26/01/11	36
24/01/11	12					27/01/11	8
						01/02/11	16
Total	245		174		65		414,5

A1= Irrigação plena; A2= déficit hídrico leve; A3=déficit hídrico moderado.

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi realizada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), utilizando os dados meteorológicos coletados de uma estação automática, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada a cerca de 200m da área experimental. A estimativa da ET_c foi realizada multiplicando-se a ET_o pelo coeficiente de cultura simples (K_c). Os valores de K_c utilizados foram os propostos por (Allen et al., 1998). Todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de irrigação, referente à A1 até o estágio vegetativo de V3 (terceira folha completamente expandida), a partir deste estágio, os tratamentos receberam irrigação conforme recomendação para cada tratamento. Os valores de temperatura máxima e mínima e de evapotranspiração de referência durante o período experimental esta apresentada na figura 1.

A determinação do conteúdo de água no solo foi realizada utilizando um conjunto FDR (Reflectometria no Domínio de Frequência, Campbell Scientific), composto por um datalogger, multiplexadores e sensores. Três sensores FDR foram instalados por parcela, nas camadas de 0 a 15 cm, 15 a 45 cm, e 45 a 90 cm de profundidade do perfil do solo. Nestas camadas do perfil do solo realizou-se a caracterização físico-hídrica do solo (Tabela 2), determinação da textura de cada camada, capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD). Determinou-se a CAD em milímetros para cada camada do perfil do solo pela equação:

$$CAD = (CC - PMP) p \quad (6)$$

Sendo p a profundidade de cada camada.

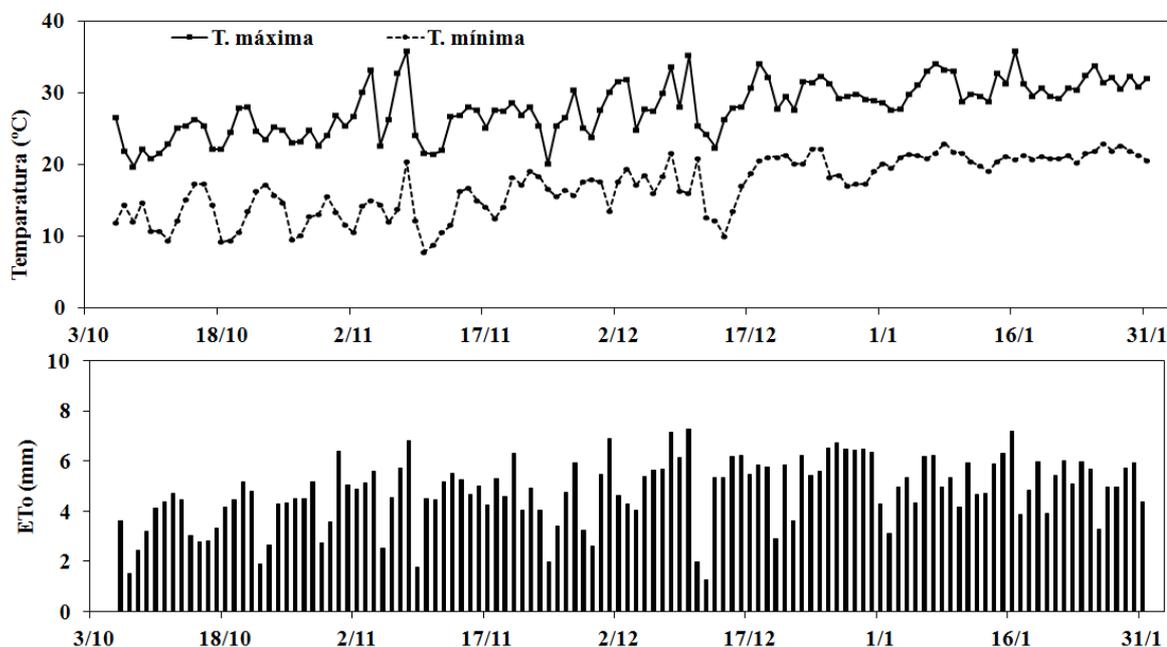


Figura 1. Temperatura máxima e mínima e evapotranspiração de referência (ET_o) durante o desenvolvimento da cultura.

A semeadura foi realizada no dia 06 de outubro, utilizando-se o híbrido Agrocerees 8011Y. As unidades experimentais foram formadas por vinte e seis linhas de cultivo, com doze metros de comprimento, totalizando uma área de 150m². O espaçamento entre linhas foi de 0,50 m, e a densidade de 6,5 plantas por m². A adubação foi realizada de acordo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC, (2004) para a cultura do milho, objetivando rendimento de grãos de 9 Mg ha⁻¹. Outros tratos culturais foram realizados de maneira que as plantas de milho se mantivessem livres de interferência de fatores bióticos. A colheita da planta inteira de milho foi realizada no estágio de $\frac{3}{4}$ da linha do leite no dia 28 de janeiro de 2011. Foram coletadas plantas de uma área de 10 m², na porção central da parcela experimental. O corte das plantas foi realizado à altura 10 cm da superfície do solo. O material foi picado utilizando um triturador forrageiro, formando partículas de tamanho médio teórico de dois a três centímetros. Uma amostra de cada parcela foi coletada e enviada para o Núcleo Integrado de Desenvolvimento em Análises Laboratoriais (NIDAL) da UFSM. Após o material ser homogeneizado foi retirada uma amostra submetida à pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas e posteriormente moídas em moinho do tipo “Wiley” em peneira com malha de 1 mm. As determinações de matéria seca (MS) foram realizadas em estufa (105°C por 16h), proteína bruta (PB) pelo método de Kjeldahl (NT x 6,25), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas (FDNc) com adição de alfa amilase mas sem uso de sulfito e fibra em detergente ácido corrigida para cinzas (FDAc), foram realizadas segundo procedimentos descritos por (Silva e Queiroz, 2002). A produção de massa verde (PMV) na área coletada (10m²) foi estimado para um hectare, assim como a produção de massa seca. Duas plantas por parcela foram selecionadas aleatoriamente, para determinação da composição botânica da planta milho, o material foi separado em: folhas, colmo e espiga

subdividida em palha, sabugo e grãos.

Tabela 2. Textura e propriedades hidráulicas dos solos.

Camada (cm)	Textura (%)			Umidade volumétrica (cm ³ cm ⁻³)			CAD mm
	Areia	Silte	Argila	CC	PMP	Saturação	
0 -15	32.3	42.5	25.2	0.380	0.090	0.492	43.5
15-45	30.4	38.2	31.4	0.360	0.090	0.494	81.0
45-90	23.5	29.0	47.5	0.395	0.201	0.506	87.3

CC=capacidade de campo; PMP=ponto de murcha permanente; CAD= capacidade de água disponível.

A produtividade da água seguiu a análise proposta por (Pereira et al., 2009a). A produtividade da água (*WP*) foi definida como a razão entre a produção atingida pela cultura, (massa seca e massa verde) e a quantidade de água utilizada, como segue:

$$WP = Ya / TWU \quad (6)$$

Em que, *Ya* é a produção de silagem atingida pela cultura, em Kg e *TWU* é o total de água utilizado para atingir *Ya*, incluindo a precipitação pluvial, em m³. Quando é apenas considerado o uso da água da irrigação, temos a produtividade da água da irrigação *WP irri*. A produtividade da água considerando apenas a irrigação foi calculada pela seguinte expressão:

$$WP \text{ Irri} = Ya / IWU \quad (7)$$

Em que *Ya* é a produção atingida pela cultura e *IWU* a água total utilizada pela irrigação.

Aumentar a produtividade da água (*WP*) pode ser a melhor forma de alcançar o uso eficiente da água. Dependendo dos termos em que o numerador e o denominador são definidos, a *WP* pode ser expressa em termos gerais físicas ou econômicas (Seckler et al., 1998). Pereira et al. (2009a) define *WP* como a razão entre o rendimento real obtido e o uso total de água (*TWU*). No entanto, *WP* pode ser definida com diferentes perspectivas (Playan & Mateos, 2006; Pereira et al, 2009a), ou seja, pode *WP* ter significados diferentes, que podem levar a interpretações contraditórias quando o objetivo considerado não é especificado. Também comumente usado como sinônimo de *WP* é o termo eficiência do uso da água (Steduto, 1996), mas, recentemente, o termo *WP* biomassa foi introduzido para referir-se claramente aos processos fisiológicas e ecofisiológicas relacionados à produção de biomassa (Steduto et al., 2007). Em relação à irrigação, é preferível avaliar a *WP* em relação ao total de água utilizada pela cultura ou total de água de irrigação utilizada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O calendário de irrigação e de chuvas durante o período experimental (semeadura ao corte da silagem) está apresentado na Tabela 1. As normais climatológicas de precipitação para o período de condução do experimento (Novembro a Janeiro) são de 556.7 mm. Valor este superior à precipitação observada durante o período experimental (06 Novembro a 01 Fevereiro) de 414 mm. Além de a precipitação ser inferior a média histórica, esta foi mal

distribuída e concentrada, ocorrendo três eventos de precipitação superiores a 40 mm diários, e intervalos entre precipitações de até 16 dias. De acordo com a estratégia de irrigação adotada para cada tratamento foi necessário realizar 21, 15 e 7 irrigações para os tratamentos A1, A2 e A3, respectivamente. Com lâmina total de irrigação aplicada de 245 mm para o tratamento com irrigação completa (A1), 147 mm para o tratamento com irrigação deficitária leve (A2) e 65 mm para o manejo de irrigação deficitária moderada (A3).

Os valores observados de umidade do solo são apresentados na figura 2. Durante o período compreendido entre a semeadura e o estágio vegetativo V3 (terceira folha completamente expandida) que compreendeu aos 22 dias após a semeadura, a umidade do solo foi praticamente idêntica para os três tratamentos, pois receberam até este período o mesmo manejo de irrigação. Após o estágio vegetativo V3, as diferenças no conteúdo de água no solo diferiram entre os tratamentos, sendo estas diferenças minimizadas após a ocorrência de precipitações de alta intensidade. Em algumas situações a umidade do solo foi superior a CAD máxima, permanecendo o conteúdo de água no solo acima da CC, sendo posteriormente percolada em profundidade.

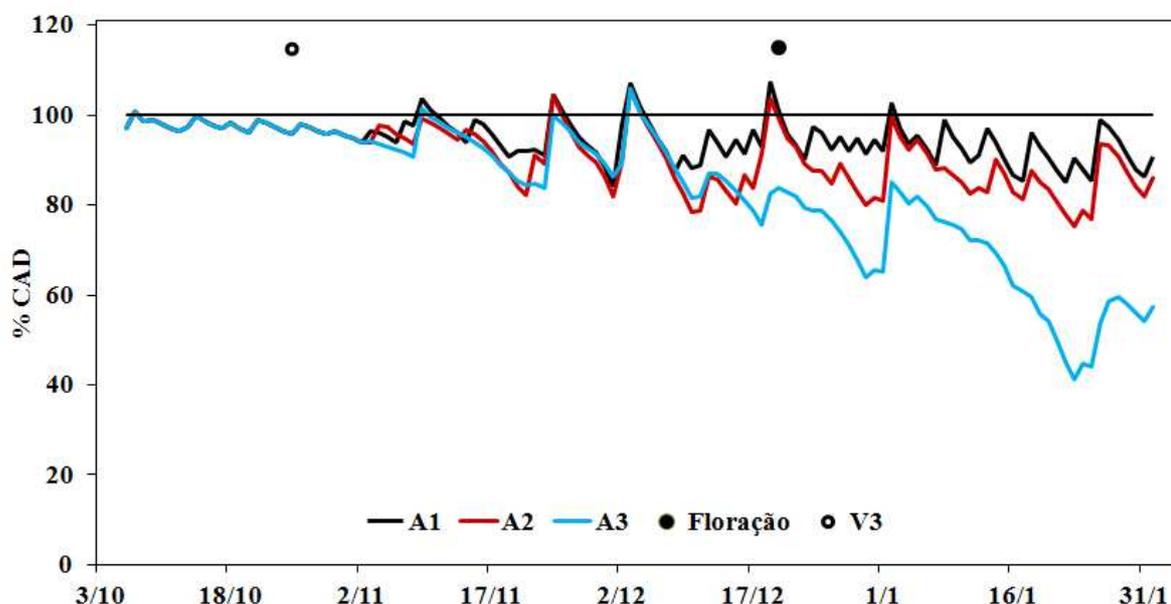


Figura 2. Percentual de capacidade de água disponível (CAD) para cada tratamento de irrigação, em relação a CAD máxima (216 mm) para o perfil do solo de 90cm.

As diferenças maiores ocorrem no final do ciclo na fase de enchimento de grãos, entretanto durante o período que antecede a floração, que é o período mais crítico da cultura do milho ao déficit hídrico o tratamento A1 e A2 foram semelhantes como conteúdo de água no solo próximo a 100% da CAD e o tratamento A3 com a umidade do solo em torno de 80% da CAD. Em relação ao conteúdo de água % de CAD, no final do ciclo estes valores são inferiores a 50% do CAD para o tratamento A3, chegando a atingir 40% da CAD. O tratamento A1 apresentou um conteúdo de umidade do solo superior aos 84% da CAD e o tratamento A2 superior a 74% da CAD ao longo do ciclo, permanecendo todo o período de desenvolvimento em conforto hídrico. Segundo (Allen et al., 1998) a cultura do milho, apresenta-se em deficiência hídrica quando o conteúdo de umidade do solo atingir valores de 55% da CAD, abaixo deste valor inicia a redução da taxa de transpiração foliar e o estresse na cultura.

Os dados de produtividade da planta inteira de milho e suas características qualitativas estão expressos na tabela 3. Os teores de PB, FDNc e FDAc da planta inteira de milho não foram afetados ($P > 0,05$) pelos diferentes manejos de irrigação plena e deficitária, de modo a não prejudicar a qualidade da silagem a ser produzida. No entanto os teores de matéria seca diferiram ($P < 0,05$) entre os tratamentos, havendo um incremento no mesmo com a redução da lâmina de água disponibilizada. Deste modo mesmo o tratamento A1 apresentando maior PMV por área (91,7 ton), a PMS não diferiu quanto aos tratamentos estudados, de modo que a real produtividade não foi afetada. A planta de milho decorrente do tratamento A1 apresenta um maior teor de massa seca, podendo este ser um fator limitante para um pleno processo fermentativo caso o material venha a ser ensilado. O tratamento A1 produziu 91,7 toneladas de MV e 21,7 toneladas de PMS por hectare, diferindo estatisticamente dos tratamentos A2 e A3 que receberam irrigação deficitária. A PMS e PMV de A2 e A3 não diferiram entre si, mesmo com uma diferença em torno de seis toneladas de MV, entretanto a PMS foi praticamente idêntica entre os dois tratamentos.

Tabela 3. Teores de massa (MS) proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas (FDNc), fibra insolúvel em detergente ácido corrigida para cinzas (FDAc) Produção de matéria verde (PMV), produção de matéria seca (PMS) da planta de milho colhida em diferentes sistemas de irrigação

Tratamento	Composição média (% da MS)					
	MS (%)	PB (%)	FDNc (%)	FDAc (%)	PMV (kg ha ⁻¹)	PMS (kg ha ⁻¹)
A1	23.72 c	8.85	58.94	32.22	91747 a	21711 a
A2	25.80 b	8.42	58.16	33.41	80123 b	20579 a
A3	27.35 a	8.77	57.18	33.65	74228 b	20221 a
CV (%)	2,14	2,64	2,81	3,97	4,10	4,19
Valor-P	<0,001	0,0604	0,3564	0,3055	0,0012	>0,05

Médias não seguidas de mesma letra diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A qualidade da silagem também pode ser avaliada pela composição botânica do material ensilado. De acordo com Banys et al. (1996), a qualidade da silagem está intimamente relacionada às características agrônômicas das plantas forrageiras, o que torna de suma importância o estudo da relação das partes componentes de cada forrageira antes de determinar sua viabilidade para tal utilização. A maior participação do componente grão na estrutura física da planta contribui no incremento dos teores de matéria seca, digestibilidade “in vitro” da matéria seca e na quantidade de energia disponível (Neumann et al., 2004). O fator mais enfatizado para a avaliação da qualidade de uma silagem é a porcentagem de grãos na matéria seca, pois os grãos são mais digestíveis que as folhas e o colmo da planta (Silva et al., 1999; Valente, 1991). Quando a proporção de grãos aumenta, os nutrientes digeríveis são proporcionalmente aumentados e o teor de proteína bruta da silagem é maior (Lupatini e Nunes, 1999).

A participação botânica do material ensilado para as diferentes estratégias de manejo de irrigação estão apresentadas na tabela 4. A participação da espiga (palha, sabugo e grãos) para os três tratamentos ficaram abaixo de 54%. O tratamento A3 apresentou numericamente maior proporção de grãos e espiga de modo que poderia ter resultado um material de melhor qualidade, fato não observado para os parâmetros PB, FDNc e FDAc. No entanto esta maior participação de grãos e espiga pode estar correlacionada com o maior teor de matéria seca da

planta e proporcionando PMS semelhante entre os tratamentos. Estudando a cultura de milho, Nussio (1992) definiu que a planta ideal para produção de silagem de alta qualidade deve apresentar em sua constituição 14 % de folhas, 22 % de colmo e 64 % de espiga, definindo participação média de 45% de grãos no material ensilado. Ambos os tratamentos apresentaram valores inferiores aos recomendados por Nussio (1992). Este fato deve-se a altura de corte do material ensilado que foi de 10cm da superfície do solo, entretanto, se aumentar a altura de corte, a contribuição do colmo seria reduzida e aumentaria a proporção dos outros componentes. Estes valores indicam que independente do manejo de irrigação adotado os tratamentos apresentaram qualidade da silagem semelhante. Assim como a altura da planta e inserção da espiga, que foram semelhantes para os tratamentos.

Tabela 4. Dados fenométricos quanto à altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE) e contribuição dos componentes estruturais dos híbridos de milho para silagem.

Tratamentos	AP	AIE	Contribuição (% MPS)					Espiga
			Folha	Colmo	Palha	Sabugo	Grão	
A1	3.13	1.58	21.5	28.7	8.7	6.9	34.2	49.8
A2	3.13	1.58	23.7	27.6	7.2	6.1	35.3	48.6
A3	3.09	1.54	21.7	24.2	8.1	7.1	38.9	54.1

Os resultados da produtividade da água utilizada pela cultura *WP*, (precipitação e irrigação) e a produtividade da água da irrigação (*WP irri*) na produção de silagem de milho são apresentados na tabela 5.

Os resultados demonstram que as maiores *WP* são observados para o tratamento A3 diferindo estatisticamente em nível de probabilidade de 5% do outros tratamentos. A *WP* do tratamento A3 foi de 14,9 e 4,1 Kg/m³ respectivamente para produção de massa verde (PMV) e massa seca (PMS). Estes valores diferem do tratamento A1 que obteve um *WP* de 13.9 Kg/m³ para PMV e de 3,3 Kg/m³ para PMS.

Quando se compara a produtividade da água da irrigação (*WP irri*) o tratamento A3 também obteve os maiores valores, sendo as diferenças muito superiores em comparação aos outros tratamentos. A *WP irri* do tratamento A3 foi de 88,4 e 24,1 Kg/m³ respectivamente para produção de massa verde (PMV) e massa seca (PMS). Estes valores diferem do tratamento A1 que obteve um *WP irri* de 37,4 Kg/m³ para PMV e de 8,9 Kg/m³ para PMS. Estes valores indicam que o tratamento A3 foi mais eficiente na utilização da água da irrigação com uma *WP irri* superior em 2,3 e 2,7 vezes superior ao Tratamento A1

Os resultados demonstram que a adoção de técnicas com restrição hídrica apresenta maiores *WP* e *WP irri*. Quando se compara a produtividade da água utilizada tanto para produção de massa seca como de massa verde, o tratamento A3 obteve uma maior produção de Kg de massa seca ou verde por m³ de água aplicada. Entretanto, ao considerar somente a produtividade da água da irrigação, essa produtividade é ainda mais expressiva chegando a produzir 88,4 Kg por m³ de água irrigada para o tratamento A3 e 37,4 Kg por m³ para o tratamento A1, observando-se o mesmo para a produção de massa seca. Isso evidencia que a irrigação deficitária é uma alternativa para situações com restrição hídrica para aumentar a eficiência do uso da água. Entretanto, este fato pode estar associado ao melhor aproveitamento das chuvas ocorridas. Como o tratamento A1 permaneceu durante o ciclo da cultura com um conteúdo de umidade do solo elevado, a precipitação efetiva pode ter sido inferior para o tratamento A1 em relação ao A3, portanto com um pior aproveitamento da

precipitação, mas para hipótese ser confirmada seria necessário um balanço hídrico por tratamento.

Tabela 5. Indicadores de produtividade de água (*WP* e *WP irri*) em Kg/m³ para a cultura do milho sob diferentes manejos de irrigação deficitária.

Tratamento	Massa verde		Massa seca	
	WP	WP irri	WP	WP irri
A1	13.9 b	37.4 b	3.3 b	8.9 b
A2	13.6 b	46.0 b	3.5 b	11.8 b
A3	14.9 a	88.4 a	4.1 a	24.1 a

Médias não seguidas de mesma letra diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A utilização da irrigação deficitária em nível de produtor irrigante deve considerar as questões econômicas relativas à produtividade da água, levando-se em consideração que o objetivo do agricultor é alcançar o melhor retorno econômico possível. Para isso, é necessário um detalhamento dos custos de produção, visto que o custo operacional pode ser reduzido pela redução do número de irrigações, com a utilização da irrigação deficitária. E para os casos onde a água é um insumo que entra no custo de produção, o produtor irrigante paga pelo seu uso, essa economia de água pode vir a reduzir o custo de produção. Alguns trabalhos comparam a produtividade da água em diferentes disponibilidades hídricas como ferramenta para análise da irrigação deficitária (Rodrigues e Pereira, 2009. Pereira et al., 2009b).

Para determinar a viabilidade econômica da adoção da irrigação deficitária, seria necessário um detalhamento completo do custo de produção (custos fixos e variáveis e dos custos operacionais e energéticos relacionados à irrigação) para cada situação e propriedade rural. Neste trabalho serão detalhados somente os custos relacionados à irrigação (custo com energia elétrica) e considerar que todos os outros custos são semelhantes para os tratamentos.

Para simular o custo de energia elétrica na irrigação, foi utilizada a equação descrita por (Lima et al., 2009):

$$CE = Ede \cdot t \cdot CMe \quad (8)$$

Sendo o custo específico da energia (*CE*), R\$ mm⁻¹ ha⁻¹; a energia dissipada específica no sistema de irrigação (*Ede*), em kWh mm⁻¹ ha⁻¹, as horas de funcionamento do equipamento de irrigação (*t*) em horas e o custo médio da energia elétrica (*CMe*), R\$ kWh⁻¹.

Foram considerados os dados técnicos de um pivô descrito por (Lima et al., 2009), sendo este um pivô de 108 hectares, com potência do motor de 300cv e uma vazão de 0,104 m³ s⁻¹, lâmina diária bruta de 7,3 mm aplicada em 21 horas de funcionamento diário e com um consumo energia dissipada específica no sistema de irrigação (*Ede*) de 6,6 kWh mm⁻¹ ha⁻¹. A partir da lâmina aplicada para cada tratamento podemos determinar a quantidade de horas de funcionamento do sistema de irrigação. O custo médio da energia é de 0,140832 R\$ kWh⁻¹ para a tarifa horo-sazonal verde, durante o período seco, fora do horário de ponta. Tarifa essa local, adotada pela AES SUL. Pela equação 8 obtemos o custo específico de energia elétrica *Ce* de R\$ 655,2 para o tratamento A1, um *Ce* de R\$ 464,7 para o tratamento A2 e um *Ce* de R\$ 173,9 para o tratamento A3, sendo estes os custos variáveis relacionados a energia elétrica na irrigação.

Determinar o valor monetário da silagem é muito difícil e dependente muito da sua qualidade nutricional. Uma maneira de determinar um valor à silagem é estimar a produção de

grãos que o milho destinado à produção de silagem poderia produzir se fosse comercializado em grãos. Considerando que de maneira geral cerca de 50% da PMS é constituído por grãos, podemos determinar qual seria a produção se este milho não fosse destinado para silagem. Sendo assim, a produtividade de grãos seria de 180,9 sacas ha⁻¹ para o tratamento A1; 171,5 sacas ha⁻¹ para A2; 168,5 sacas ha⁻¹ para A3. Se considerarmos o preço de mercado atual, a saca de milho está com preço médio de R\$ 25,00. Desse modo, a receita bruta de comercialização do produto de cada tratamento seria de R\$ 4.522,5 para o tratamento A1, de R\$ 4.287,5 para o tratamento A2 e de R\$ 4.212,5 para o tratamento A3.

Considerando apenas os dados relacionados ao custo de energia elétrica e a produtividade da cultura, considerando todos os outros custos de produção e operacionais idênticos para todos os tratamentos, podemos concluir que para este estudo os tratamentos com irrigação deficitária possuem um retorno econômico superior ao tratamento com irrigação plena. Para cada R\$ 1.0 gasto em irrigação o tratamento A3 teve uma receita bruta de R\$ 24,22, sendo que para A1 foi de R\$ 6,90. A irrigação plena teve uma maior produção, mas com um custo operacional da irrigação também superior.

6 CONCLUSÃO

A adoção de irrigação deficitária reduz a produção de matéria verde da planta inteira de milho, entretanto, aumenta a produtividade da água, os teores de matéria seca, não influenciando a qualidade nutricional nem a produção de matéria seca do material em estudo. Esta técnica pode ser uma alternativa em cenários onde se priorize a economia de água e sua eficiência, além de manter um retorno econômico semelhante à opção de irrigação plena. Assim, para a sua adoção á campo é necessário uma análise de custo de produção e viabilidade econômica detalhada para cada situação.

A estratégia de irrigação deficitária pode ser uma alternativa para aumentar a produtividade da água, mantendo a viabilidade econômica, entretanto esta carece de mais estudos em diferentes situações e para diferentes culturas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, FAO, Rome, Italy, 300p.

BANYS, V. L.; TIESENHAUSEN, I. M. E. V.; FALCO, J. E.; et al. Consórcio milho-girassol: Características agronômicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.20, n.1, p.84-89, jan./mar. 1996.

BERGAMASCHI, H.; WHEELER, T. R.; CHALLINOR, J. A.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.5, p.603-613, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2004. 400p.

DEMARCHI, J. J. A. A.; BOIN, C.; BRAUN, G. A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para produção de silagens de alta qualidade. **Zootecnia**, v.33, n.3, p.111-136, jul./set. 1995.

ENGLISH, M.; NAVAID, S. Perspectives on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v.32, p.1-14, 1996.

ENGLISH, M.J.; SOLOMON, K.H.; HOFFMAN, G.J. A paradigm shift in irrigation management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v128, p.267-277, 2002.

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

LIMA, A. J de.; GUIMARÃES JR, S. C.; FIETZ, C. R.; CAMACHO, J. R. Avaliação e análise da eficiência energética na irrigação em sistemas pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.499-505, 2009

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

LUPATINI, G. C.; NUNES, S. P. Milho para produção de silagem de qualidade. In: RESTLE, J. (Ed.) **Confinamento, pastagens e suplementação para produção de bovinos de corte**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1999. p.104-124.

LUPATINI, G. C.; MACCARI, M.; ZANETTE, S.; PIACENTINI, E.; NEUMANN, M. Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho (*Zea mays*, L.) para produção de silagem, **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.2, p.193-203, 2004

MARTIN, D.L.; BROCKLIN, J.V.; WILMES, G. Operating rules for deficit irrigation management. **Trans. ASAE**, v.32, p.1207-1215, 1989.

MITCHELL, P. D.; JERIE, P. H. Y.; CHALMERS, D. J. Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. **J. Amer. Soc. Hort.** v.109, n.5, p.604-606, 1984

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; BRONDANI, I. L. Avaliação de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) e milho (*Zea mays*, L.) na produção do novilho superprecoce. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.3, p.438-452, 2004.

NUSSIO, L. G. Produção de silagem de alta qualidade. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19., 1992, Porto Alegre. **Conferências...** Porto Alegre: SAA/SCT/ABMS/Emater-RS/Embrapa-CNPMS, p.155-175, 1992.

PAYERO, O. J.; TARKALSON, D. D.; IRMAK, S.; DAVISON, D.; PETERSEN, J.L. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1387-1397, 2009

- PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, 2000.
- PEREIRA, L.S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, v.57: p.175-206, 2002.
- PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Coping with Water Scarcity. Addressing the Challenges. **Springer**, Dordrecht, 382 p. 2009a.
- PEREIRA, L.S.; PAREDES, P.; CHOLPANKULOV, E. D.; INCHEKOV, O. P.; TEODORO, P. R.; HORST, M. G. Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. **Agricultural Water Management**, v.96, p.723–735, 2009b
- PLAYAN, E.; MATEOS, L. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. **Agricultural Water Management**, v.80, p.100–116, 2006.
- RODRIGUES, G. C.; PEREIRA, L. S. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water cost. **Biosystems Engineering**, v.103, n.4, p.536-551, 2009.
- SECKLER, D.; MOLDEN, D.; SAKTHIVADIEL, R. The Concept of Efficiency in Water Resource Management and Policy. Intern. Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. p.37-51, 1998.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.
- SILVA, L. F. P.; MACHADO, P. F.; FRANCISCO JUNIOR, J. C. et al. Características agronômicas e digestibilidade “*in situ*” da fração volumosa de híbridos de milho para silagem. **Scientia Agrícola**, v.56, n.1, p.171-184, 1999.
- STEDUTO, P.. Water use efficiency. In: Sustainability of Irrigated Agriculture (Pereira L S; Feddes R A; Gilley J R; Lesaffre B eds), 1996. pp.193–209.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. On the conservative behavior of biomass water productivity. **Irrigation Science**, v.25, p.189–207, 2007.
- VALENTE, J. O. Introdução. In EMBRAPA.Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Milho para silagem: tecnologias, sistemas e custo de produção**. Sete Lagoas, 1991. p. 5-7. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 14).