

VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA EM MILHO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO

JULIANO DALCIN MARTINS ¹; MIRTA TERESINHA PETRY ²; GONÇALO CALEIA RODRIGUES ³ E REIMAR CARLESSO ⁴

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFRS), Câmpus Ibirubá, Ibirubá, RS, juliano.dalcin@ibiruba.ifrs.edu.br

² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Rural, Santa Maria, RS, mirta.petry@gmail.com

³ CEER- Engenharia dos biosistemas, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, goncalocaleiarodrigues@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Rural, Santa Maria, RS, reimar.carlesso@gmail.com.

1 RESUMO

A irrigação por gotejamento é uma tecnologia que permite maior controle sobre a quantidade de água aplicada, melhorando a eficiência de seu uso na agricultura irrigada. Entretanto, apesar das inúmeras vantagens associadas à irrigação por gotejamento, a sua implantação muitas vezes é limitada pelo elevado custo de implantação e manutenção. O principal objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade econômica do uso da irrigação deficitária por gotejamento na cultura do milho. Foram conduzidos dois experimentos sob uma cobertura móvel, nos anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12. Os tratamentos foram constituídos de irrigação plena com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c) e irrigação deficitária, com reposição da evapotranspiração da cultura de 80, 55 e 30% da ET_c, durante o ano agrícola de 2010/11 e reposição de 100, 80, 65, 45 e 40% da ET_c, durante o ano agrícola de 2011/12. Os resultados indicaram que as despesas com os custos fixos relacionados às linhas laterais do sistema de irrigação foram as que mais oneraram o custo final de produção, em todos os tratamentos e condições estudadas. A análise de sensibilidade demonstrou que a lucratividade da irrigação por gotejamento na cultura do milho está associada ao custo fixo anual do sistema de irrigação e do preço de comercialização do milho.

Palavras-chave: Viabilidade econômica, evapotranspiração, manejo de irrigação.

**MARTINS. J. D.; PETRY, M. T.; RODRIGUES, G. C.; CARLESSO. R.
ECONOMIC VIABILITY OF DEFICTARY DRIP IRRIGATION IN
IRRIGATED CORN**

2 ABSTRACT

Drip irrigation is a technology that allows greater control over the applied water improving the water use efficiency in the irrigated agriculture. However, despite the advantages used associated to the drip irrigation, its implantation may sometimes be limited by installation costs. The objective of this paper was to evaluate the economic feasibility of deficit irrigation using a drip system for maize plants. Two experiments were conducted under a rain out

shelter, during 2010/11 and 2011/12 growing seasons. Treatments consisted of full irrigation with replacement of 100% of crop evapotranspiration (ET_c) and deficit irrigation with replacement of the crop evapotranspiration at a rate of 80, 55 and 30% ET_c during the 2010/11 growing season and replacement of 100, 80, 65, 45 and 40% of ET_c during the 2011/12 growing season. The results indicated that expenses with fixed costs related to the lateral lines of the irrigation system were higher for all treatments and conditions studied. Sensitivity analysis shows that the profitability of drip irrigation for maize was associated with annual fixed cost of the drip irrigation system and also the maize selling price.

Keywords: Economic viability, evapotranspiration, irrigation management.

3 INTRODUÇÃO

A eficiência econômica, que objetiva a otimização dos recursos investidos, não é normalmente considerada no manejo tradicional de irrigação em sistemas já implantados, prática esta que procura maximizar a produtividade da terra. No entanto, irrigar com o objetivo de maximizar o lucro é um problema mais complexo e desafiador que irrigar apenas para obter a máxima produtividade da cultura (FIGUEIREDO et al., 2008). A viabilidade econômica da irrigação deve ser analisada em função da produtividade física e econômica do recurso hídrico, principalmente em regiões onde há escassez, o que implica numa reposição de água menor que a evapotranspiração da cultura. A irrigação deficitária consiste na aplicação de água abaixo dos requisitos necessários para atender plenamente a evapotranspiração máxima das culturas. 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, do desempenho do sistema de irrigação e dos custos de produção (LORITE et al., 2007).

O sistema de irrigação por gotejamento apresenta vantagens, como reduzir a quantidade de água aplicada e do uso de fertilizantes, economia de mão de obra, redução dos gastos com energia, e possibilidade de automação (BOAS et al., 2011). Apesar das inúmeras vantagens que esse sistema oferece, o mesmo tem sido pouco utilizado para a irrigação da cultura do milho no Brasil. Uma das principais limitações é seu alto custo de implantação e manutenção. Por ser um sistema fixo, a irrigação por gotejamento exige alto investimento, devendo ser considerados gastos como energia e mão de obra para operação e manejo do sistema, que representam importantes custos adicionais à produção (BOAS et al., 2011).

Entre os vários componentes de um sistema de irrigação por gotejamento, o custo das linhas laterais é o fator mais importante e o que mais onera o custo total do sistema (EL-HENDAWY et al., 2008). Como o espaçamento entre as linhas laterais do sistema de gotejamento para a cultura do milho é definida em função do espaçamento entre linhas de cultivo, que comumente para a cultura do milho varia de 0,45 a 0,90 m, a quantidade de gotejadores utilizada é elevada, mesmo com a utilização de gotejadores em linhas alternadas.

O objetivo deste trabalho foi determinar a viabilidade econômica da adoção de estratégias de irrigação deficitária, seu impacto no custo de produção e a viabilidade técnica e econômica da irrigação por gotejamento na cultura do milho, quando comparada a diferentes alternativas de sistemas de gotejamento usualmente projetadas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos na estação experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, nos anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12. A área experimental está situada na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil, latitude de 29°41'24"S e longitude de 53°48'42"W e com altitude de 100 m. Os experimentos foram instalados no interior de uma cobertura móvel "Rainfall Shelter", com orientação Leste-Oeste, composta por duas estruturas metálicas de 16 x 10 m, ocupando área total de 74 x 10 m e com área experimental útil de 320 m². A estrutura movimentava-se sobre trilhos metálicos, a partir de acionamento manual. A cobertura móvel foi acionada momentos antes da ocorrência de precipitações pluviais, permanecendo a área experimental coberta somente durante o período de ocorrência de precipitação. Somente foi permitida a ocorrência de precipitações pluviais até o estágio vegetativo V3, as precipitações pluviais que ocorreram neste período não foram evitadas sobre a área experimental, para uniformizar a umidade do solo em todos os tratamentos, após esta fase, iniciou-se a aplicação dos tratamentos.

No ano de 2010/11, os tratamentos foram constituídos de quatro manejos de irrigação: irrigação plena, (R100) com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), e irrigações deficitárias (R80, R55 e R30) correspondendo, respectivamente, a 80%, 55% e 30%, de reposição da ETc estimada para uma condição sem déficit hídrico. A semeadura foi realizada no dia 13 de janeiro de 2011 em sistema de cultivo plantio direto sob resíduos culturais de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com aproximadamente 3 toneladas de massa seca por hectare. O híbrido semeado foi o P1630H com espaçamento entre linhas de 0,50 m e densidade de 6,5 plantas por m². As unidades experimentais foram compostas de parcelas de 3 x 6 m.

O segundo experimento foi conduzido no ano agrícola de 2011/12. Os tratamentos foram constituídos de seis manejos de irrigação: irrigação plena (R100) com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), e irrigações deficitárias (R80, R65, R55, R45 e R40), com reposição de 80%, 65%, 55%, 45% e 40%, respectivamente, da ETc estimada para uma condição sem déficit hídrico. A semeadura do milho foi realizada em 15 de outubro de 2011, em sistema de cultivo plantio direto, sobre restos culturais de aveia (*Avena sativa*) com 2,8 toneladas de massa seca por ha. O híbrido utilizado foi DKB240 com espaçamento entre linhas de 0,5 m e população média de 7,0 plantas por m². As unidades experimentais foram compostas de parcelas de 3 x 3 m. A escolha do híbrido foi realizada em função da adaptação dos materiais às épocas de semeadura, sendo no primeiro experimento um híbrido mais adaptado ao cultivo de segunda época (safrinha) e o segundo experimento um híbrido mais adequado à primeira época de semeadura (safra).

No segundo experimento (2011/12) foram utilizados mais tratamentos de irrigação deficitária com níveis de reposição intermediários aos utilizados no primeiro experimento (2010/11). Este maior número de tratamentos teve como finalidade de expressar e identificar melhor o efeito da irrigação deficitária e sua viabilidade econômica na cultura do milho.

O sistema de irrigação era constituído de uma linha principal de condução de água, de onde foi derivada uma tubulação secundária para cada unidade experimental e nestas foram conectadas linhas laterais (tubos gotejadores). No início de cada linha secundária foram instalados registros que permitiram controlar a passagem de água e possibilitar irrigar simultaneamente todas as unidades experimentais de um mesmo tratamento. Foram utilizados tubos gotejadores autocompensantes de 16 mm de diâmetro com espaçamento entre gotejadores de 0,2 m, com pressão de serviço de 10 mca, e vazão de 1,3 L h⁻¹, resultando em

uma taxa de aplicação de irrigação de 13 mm h⁻¹. As linhas laterais de gotejadores foram instaladas entre as fileiras de cultivo e espaçadas em 0,5 m.

A necessidade de irrigação foi determinada com base na evapotranspiração da cultura (ET_c). A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi realizada pelo método de Penman-Monteith, segundo Allen et al. (1998), utilizando os dados coletados na estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a 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).

Para a determinação do conteúdo de água no solo foi utilizado um conjunto FDR (Frequency Domain Reflectometer), constituído por um datalogger CR1000 e multiplexadores AM16/32, e sensores CS626, (Campbell Science, Inc). As leituras foram realizadas diariamente, de forma automática, em intervalos de 15 minutos, desde a sementeira até a colheita. Os sensores foram instalados na porção central de cada parcela, representando as camadas de 0-0,1; 0,1-0,25; 0,25-0,55; 0,55-0,85 m de profundidade.

Na verificação do balanço hídrico do solo, após a realização do experimento, foi utilizado o modelo SIMDualK_c (ROSA et al., 2012), o qual adota a abordagem do coeficiente de cultivo dual (ALLEN et al., 2005) para estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c). O modelo SIMDualK_c foi previamente calibrado e validado para o ano agrícola de 2010/11 (MARTINS et al., 2013). A partir dos parâmetros validados, foram realizadas as simulações para o ano agrícola de 2011/12. Os resultados dos componentes do balanço estão descritos na Tabela 1.

Para avaliar os impactos da adoção de sistemas de irrigação por gotejo foram desenvolvidas diferentes alternativas para analisar os resultados econômicos do respectivo investimento. Para a estimativa dos custos de produção, utilizou-se a avaliação do resultado econômico considerando a depreciação e o custo alternativo (REIS, 2007). Para o cálculo de cada recurso fixo, adicionou-se à depreciação o custo alternativo do fator produtivo. Os itens considerados nos custos fixos e o procedimento de operacionalização foram os descritos pela CONAB (2010), seguindo os custos de produção regional para produção de milho para os dois anos agrícolas (CONAB, 2013). O detalhamento dos custos está descrito em (MARTINS, 2013).

O sistema de irrigação foi dimensionado para uma área de um hectare, utilizando-se o software MIRRIG (PEDRAS et al., 2009) a partir de quatro alternativas de gotejadores: i) Naan Slim 16 mm 8 mil, com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m, fita gotejadora com vida útil de 2 anos (FG 0,2); ii) Naan Slim 16 mm 8 mil, com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m, fita gotejadora com vida útil de 2 anos (FG 0,3); iii) Naan Tif 16 mm, com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m, tubo gotejador com vida útil de 4 anos (TG 0,2); e iv) Naan Tif 16 mm com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m, tubo gotejador com vida útil de 4 anos (TG 0,3). Os gotejadores citados acima foram combinados com espaçamentos entre linhas laterais de 0,90 e 1,35 m, sempre considerando uma área irrigada de 1 hectare.

Para este estudo determinou-se a produtividade econômica da água, considerando o valor do rendimento econômico da cultura para uma dada produção obtida (Y_a) e o custo do total de água utilizada (TWU) (incluindo todos os custos agrícolas). Em termos monetários obtém-se o índice de produtividade econômica da água (EWPR_{full-cost}):

$$EWPR_{full-cost} = \frac{\text{Valor}(Y_a)}{\text{Custo}(TWU)} \quad (1)$$

O $EWPR_{full-cost}$ permite avaliar se uma opção de gestão leva a um rendimento positivo ($EWPR \geq 1$) ou negativo ($EWPR < 1$), uma vez que compara o valor da produção com os custos agrícolas. Também considerou-se a produtividade da água (WP) (PEREIRA et al., 2012). No presente estudo, a WP (kg m^{-3}) foi definida como a razão entre o rendimento real da cultura (Y_a , kg) e o consumo total de água (TWU, m^3), considerando os valores de precipitação e irrigação.

$$WP = \frac{Y_a}{TWU} \quad (2)$$

A análise estatística foi realizada considerando-se um delineamento inteiramente casualizado para cada ano agrícola e constou da comparação entre médias da produção de grãos e produtividade da água (WP), por meio do teste t de student ao nível de 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lâmina total de água aplicada nos tratamentos, bem como a precipitação efetiva, escoamento superficial, drenagem profunda, depleção do conteúdo de água no solo na zona radicular, evapotranspiração atual da cultura (ETa) e a evapotranspiração máxima (ETm), simulados pelo SIMDualKc estão apresentados na Tabela 1. Os valores de evaporação de água no solo foram maiores para os tratamentos que receberam maiores lâminas de irrigação. Isto se deve ao maior número de irrigações, mantendo o conteúdo de água na camada de evaporação do solo elevado por um período maior. A evapotranspiração atual da cultura foi inferior à evapotranspiração máxima da cultura, para os tratamentos com irrigação deficitária, pois o conteúdo de água no solo durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foi inferior à fração de esgotamento de água no solo permitida, para que não ocorra déficit hídrico e a transpiração da cultura não foi potencializada.

As produtividades médias de grãos de milho, em função das diferentes estratégias de irrigação deficitária, estão apresentadas na Tabela 1, sendo significativamente afetada pelo manejo de irrigação deficitária, em ambos os anos agrícolas. Todas as produtividades obtidas nos tratamentos com irrigação deficitária foram inferiores a observada no tratamento R100. A produtividade do tratamento R80 apresentou uma redução de 10% para o ano agrícola 2010/11 e de 5% no ano agrícola de 2011/12 em comparação com o R100. O tratamento R55, que recebeu 55% do total de irrigação do tratamento R100, apresentou redução na produtividade de 17% para o ano agrícola 2010/11 e de 25% no ano agrícola de 2011/12 em relação ao tratamento R100. O tratamento com irrigação deficitária mais intensa (R30) apresentou uma redução na produtividade de 42% em relação ao tratamento com 100% de reposição da ETc.

A produtividade da água foi maior para os tratamentos com aplicação de déficits hídricos mais elevados. O tratamento R100 apresentou uma WP de 1,99 e 1,75 kg m^{-3} , nos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12, respectivamente. Os tratamentos com déficits mais elevados, como o R30 apresentou WP de 2,87 kg m^{-3} e R40 com 2,47 kg m^{-3} . Estes resultados indicam que as plantas dos tratamentos com irrigação deficitária foram mais eficientes na utilização do uso da água com maior produção de grãos por m^3 aplicado de água, corroborando com os resultados apresentados por Fereres e Soriano (2007); Karam et al. (2003); Zwart e Bastiaanssen (2004).

Na Tabela 2 são apresentados os valores de participação dos itens que compõem os custos totais de produção de milho, para os dois anos agrícolas, detalhando o custo relacionado à irrigação para os tratamentos estudados, e os custos fixos do sistema de irrigação para os tubos gotejadores (Naan Slim 0,2; Naan Slim 0,3; Naan Tif 0,2; e Naan Tif 0,3) nos espaçamentos de linhas laterais de 0,9 e 1,35 m. Verificou-se que, para todos os tratamentos avaliados, os custos relacionados à irrigação compõem cerca de 45% do custo total de produção (custo de produção mais os custos relacionados à irrigação). O custo fixo, de depreciação dos gotejadores foi o item que mais onerou os custos relacionados à irrigação. Os custos com energia elétrica e água pouco contribuíram para o custo de produção total (entre 1 e 3%) para todos os tratamentos, como pode ser observado na Tabela 2. A reduzida diferença observada nos custos de energia elétrica e de água entre os tratamentos deveu-se essencialmente ao baixo consumo de energia elétrica pelo sistema de irrigação por gotejamento.

Tabela 1. Componentes do balanço hídrico para a cultura do milho nos diferentes tratamentos para os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, produção de grãos e produtividade da água.

Tratamento	I	Pe	Dr	Ru	De	ET _a	E	T	ET _m	Produção	WP
	(mm)									kg ha ⁻¹	kg m ⁻³
2010/11											
R100	389	72	86	2	3	365	34	331	365	9190 a	1,99 b
R80	316	72	33	2	19	361	31	330	361	8340 a	2,15 b
R55	218	72	24	2	89	342	29	313	342	7650 b	2,64 a
R30	113	72	22	2	118	272	25	247	328	5312 c	2,87 a
2011/12											
R100	433	75	78	0	92	525	47	478	538	8888 a	1,75 c
R80	350	75	57	0	100	504	42	462	533	8456 ab	1,99 b
R65	280	75	12	0	111	452	39	413	530	7628 b	2,15 b
R55	240	75	12	0	110	406	32	374	488	6742 b	2,14 b
R45	195	75	12	0	118	385	36	348	505	6262 bc	2,32 a
R40	175	75	12	0	121	352	33	319	501	6174 bc	2,47 a

Letras que diferem na coluna indicam diferença significativa pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro; I=irrigação; Pe=precipitação efetiva; Dr=drenagem; Ru=escoamento superficial; De=depleção de água na zona radicular; ET_a=evapotranspiração atual; E=evaporação; T=transpiração; ET_m=evapotranspiração máxima; WP=produtividade da água; R100 reposição de 100% da ET_c; R80 reposição de 80% da ET_c; R65 reposição de 65% da ET_c; R55 reposição de 55% da ET_c; R45 reposição de 45% da ET_c; R40 reposição de 40% da ET_c e R30 reposição de 30% da ET_c.

É de conhecimento que os custos de produção de milho dependem basicamente do nível tecnológico adotado pelo produtor, e da variação anual do custo dos insumos de produção. Mas também, podem variar em função do sistema de cultivo, práticas de manejo, do tipo de cultivares utilizadas (SANGOI et al., 2003, 2006) e épocas de semeadura (FORSTHOFER et al., 2006).

Uma análise de sensibilidade foi realizada considerando as quatro alternativas de tubos gotejadores, em que foram criados três cenários de preços do milho para o manejo da irrigação atual: considerando valores atuais de mercado (R\$ 0,40 kg⁻¹); e cenários que representam um aumento/diminuição dos preços do milho em -25% e +25%, ou seja, R\$ 0,30 e 0,50 kg⁻¹, respectivamente, para os conjuntos de tubos gotejadores alternativos. A variação da cotação do milho foi realizada para avaliar os impactos sobre EWPR_{full-cust}. O percentual

dos cenários que representam um aumento/diminuição dos preços do milho foi adotado em função da variação da cotação do milho no local de estudo nos últimos 5 anos.

Tabela 2. Custo de produção para a cultura do milho (R\$ ha⁻¹) para os anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12, e custos relacionados à irrigação para cada tratamento e das diferentes alternativas de tubos gotejadores em (R\$ ha⁻¹).

CUSTOS	Custos de produção (R\$ ha ⁻¹)		Custo variável relacionado à irrigação (R\$ ha ⁻¹)			
	2010/11	2011/12	Tratamento	Água e energia	Tratamento	Água e energia
			Ano agrícola	2010/11	Ano agrícola	2011/12
Terra	361,5	363,0	R100	112,3	R100	125,0
Benfeitorias	58,0	59,6	R80	91,3	R80	101,1
Máquinas e implementos	141,7	144,4	R55	63,0	R65	80,9
Manutenção	61,2	62,7	R30	32,6	R55	69,3
Total Custo Fixo	622,5	629,6			R45	56,3
Mão de obra	49,5	57,6			R40	50,5
Insumos	1005,0	1120,6	Custo Fixo Relacionado à irrigação (R\$ ha ⁻¹)			
Máquinas e implementos	206,1	212,1	E espaçamento linhas laterais (m)			
Transporte	81,0	59,4		0,9		1,35
Armazenagem	143,1	142,6	FG 0,2	1750,0		1150,0
Administrativos	54,7	38,7	FG 0,3	1470,0		970,0
Custo alternativo	88,6	91,3	TG 0,2	3050,0		2000,0
Assistência técnica	21,9	25,8	TG 0,3	2650,0		1750,0
Total Custo Variável	1649,8	1748,0				
Custo de produção	2272,3	2377,7				

R100 reposição de 100% da ETc; R80 reposição de 80% da ETc; R65 reposição de 65% da ETc; R55 reposição de 55% da ETc; R45 reposição de 45% da ETc; R40 reposição de 40% da ETc e R30 reposição de 30% da ETc; (FG 0,2) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (FG 0,3) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m; (TG 0,2) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (TG 0,3) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m.

Na Tabela 3 estão apresentadas as quatro combinações de tubos gotejadores para o espaçamento entre laterais de 0,90 m nos diferentes cenários de variação da cotação do milho. Considerando-se a cotação do preço do milho de R\$ 0,40 kg⁻¹, os valores EWPR_{full-cost} variaram de 0,40 a 0,95. Nestas condições, o cultivo de milho irrigado por gotejamento não apresenta viabilidade econômica para nenhuma das estratégias de irrigação avaliadas, isso é, tanto para a irrigação plena como para a irrigação deficitária, pois os valores de EWPR_{full-cost} foram inferiores a 1. O mesmo ocorreu para o cenário com redução da cotação do preço de comercialização do milho em 25%. Somente se observa um retorno econômico, quando o preço de comercialização do milho aumentou em 25% e, mesmo assim, apenas nos tratamentos R100, (irrigação plena) e R80, (irrigação deficitária) e utilizando os tubos gotejadores Naan Slim 0,2 e Naan Slim 0,3. Nesse caso, os valores máximos de EWPR_{full-cost} variaram entre 1,12 e 1,19 para o tratamento R100 utilizando o gotejador Naan Slim 0,3. Os valores menores referem-se aos tratamentos com maior déficit hídrico (menor aplicação de irrigação) devido a menor produtividade observada em consequência do maior déficit de irrigação aplicado.

Tabela 3. Análise de sensibilidade do índice de produtividade econômica da água, considerando o custo total de cultivo ($EWPR_{full-cost}$) para a cotação do milho e as opções de tubos gotejadores com linhas espaçadas em 0,9 m, nos anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12.

Ano	Tratamento	FG 0,2	FG 0,3	TG 0,2	TG 0,3
R\$ 0,30 kg Milho					
2010/11	R100	0,67	0,72	0,51	0,55
	R80	0,61	0,65	0,46	0,50
	R55	0,56	0,60	0,43	0,46
	R30	0,39	0,42	0,30	0,32
2011/12	R100	0,63	0,67	0,48	0,52
	R80	0,60	0,64	0,46	0,49
	R65	0,54	0,58	0,42	0,45
	R55	0,48	0,52	0,37	0,40
	R45	0,45	0,48	0,34	0,37
	R40	0,44	0,48	0,34	0,36
R\$ 0,40 kg Milho (valor atual)					
2010/11	R100	0,89	0,95	0,68	0,73
	R80	0,81	0,87	0,62	0,67
	R55	0,75	0,80	0,57	0,61
	R30	0,52	0,56	0,40	0,43
2011/12	R100	0,84	0,89	0,64	0,69
	R80	0,80	0,86	0,61	0,66
	R65	0,72	0,78	0,55	0,60
	R55	0,64	0,69	0,49	0,53
	R45	0,60	0,64	0,46	0,49
	R40	0,59	0,63	0,45	0,49
R\$ 0,50 kg Milho					
2010/11	R100	1,11	1,19	0,85	0,91
	R80	1,01	1,09	0,77	0,83
	R55	0,94	1,01	0,71	0,77
	R30	0,66	0,70	0,50	0,54
2011/12	R100	1,04	1,12	0,80	0,86
	R80	1,00	1,07	0,76	0,82
	R65	0,91	0,97	0,69	0,75
	R55	0,80	0,86	0,61	0,66
	R45	0,75	0,80	0,57	0,62
	R40	0,74	0,79	0,56	0,61

R100 reposição de 100% da ETc; R80 reposição de 80% da ETc; R65 reposição de 65% da ETc; R55 reposição de 55% da ETc; R45 reposição de 45% da ETc; R40 reposição de 40% da ETc e R30 reposição de 30% da ETc; (FG 0,2) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (FG 0,3) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m; (TG 0,2) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (TG 0,3) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m.

Para a condição de maior espaçamento entre linhas laterais, espaçamento de 1,35 m (Tabela 4), os valores de $EWPR_{full-cost}$ de todos os tratamentos foram mais elevados, devido a redução no custo fixo anual com linhas laterais. Nas condições de preços de comercialização e custos de produção avaliados, somente o tratamento sem déficit hídrico (R100) apresentou valores mais elevados ou próximo a 1 para os tubos gotejadores Naan Slim. Quando o preço do milho aumentou para R\$ 0,50 kg⁻¹, alguns tratamentos apresentaram rendimentos positivos, mesmo para os tratamentos com irrigação deficitária. Nesta condição, observou-se valores de $EWPR_{full-cost}$ superiores a 1 para os tratamentos R100, R80 e R55, para o ano agrícola de 2010/11 e R100, R80 e R65, para o ano agrícola de 2011/12, utilizando-se as fitas gotejadoras. A utilização do tubo gotejador somente foi viável para a condição do tratamento R100 e com o preço de comercialização do milho incrementado em 25%. Entretanto, para o cenário em que o preço de comercialização do milho foi reduzido para R\$ 0,30 kg⁻¹, todas as alternativas apresentam um retorno econômico negativo, mesmo após a redução do custo fixo anual das linhas laterais. Isso evidencia que os resultados econômicos são particularmente sensíveis aos preços de comercialização das commodities, como observado por Rodrigues et al. (2010).

Os resultados demonstram que a viabilidade econômica da irrigação deficitária na irrigação por gotejamento é extremamente dependente dos preços das commodities e do custo de aquisição das linhas laterais, pois representa o maior componente do custo da irrigação por gotejamento. O aumento do espaçamento entre linhas laterais de 0,90 m para 1,35 m ocasiona uma redução de aproximadamente 33% no custo total das linhas laterais, e conseqüentemente, aumento do $EWPR_{full-cost}$ atingindo situações de rendimento positivo.

O baixo retorno econômico observado provavelmente está associado ao elevado custo de instalação do sistema de irrigação por gotejamento, principalmente pelo alto custo das linhas laterais e por sua reduzida vida útil. Assim, em muitos casos, a irrigação por gotejamento para culturas semeadas em linha e com espaçamento reduzido, a exemplo do milho, não tem sido considerada uma alternativa viável. No entanto, o aumento no espaçamento entre linhas laterais de tubos gotejadores é o fator mais importante para reduzir os elevados custos da irrigação por gotejamento (LAMM et al., 1997; BOZKURT et al., 2006). De acordo com Bozkurt et al. (2006), os custos da tubulação lateral representam aproximadamente 45% do custo total de um sistema de irrigação para a cultura do milho, e a substituição de uma linha lateral de gotejamento por linha de cultivo para duas linhas de cultivo por linha de gotejamento, resulta em uma considerável redução nos custos. Outra alternativa seria projetar sistemas de irrigação de gotejamento para áreas superiores as consideradas neste estudo (1 hectare). Com o aumento da área irrigada ocorre uma redução dos custos por hectare, entretanto, este estudo deve ser realizado para cada projeto de irrigação.

O custo da irrigação por gotejamento é diretamente proporcional ao número de emissores, ou ao espaçamento entre emissores ao longo das linhas laterais e, principalmente ao espaçamento entre laterais (COLOMBO & OR, 2006). Henggeler (1995) relata que linhas de gotejamento com um espaçamento de 1 m aumentam o custo do sistema em aproximadamente 40% quando comparado ao espaçamento de 2 m. Couto et al. (2013), testando espaçamentos de 1,10 m e 1,65 m para a cultura do milho, cultivada em espaçamento entre linha de 0,55 m não encontraram diferenças significativas na produtividade e recomendam a utilização de um espaçamento de 1,65 m por ser mais econômico.

Tabela 4. Análise de sensibilidade do índice de produtividade econômica da água, considerando o custo total de cultivo ($EWPR_{full-cost}$) para a cotação do preço de comercialização do milho e as opções de tubos gotejadores com linhas espaçadas em 1,35 m, nos anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12.

Ano	Tratamento	FG 0,2	FG 0,3	TG 0,2	TG 0,3
R\$ 0,30 kg Milho					
2010/11	R100	0,78	0,82	0,63	0,67
	R80	0,71	0,75	0,57	0,61
	R55	0,66	0,69	0,53	0,56
	R30	0,46	0,49	0,37	0,39
2011/12	R100	0,73	0,77	0,59	0,63
	R80	0,70	0,74	0,57	0,60
	R65	0,63	0,67	0,51	0,54
	R55	0,56	0,59	0,45	0,48
	R45	0,52	0,55	0,42	0,45
	R40	0,52	0,55	0,42	0,44
R\$ 0,40 kg Milho (valor atual)					
2010/11	R100	1,04	1,10	0,84	0,89
	R80	0,95	1,00	0,76	0,81
	R55	0,88	0,93	0,71	0,75
	R30	0,61	0,65	0,49	0,52
2011/12	R100	0,97	1,02	0,79	0,84
	R80	0,93	0,98	0,76	0,80
	R65	0,85	0,89	0,68	0,72
	R55	0,75	0,79	0,61	0,64
	R45	0,70	0,74	0,56	0,60
	R40	0,69	0,73	0,56	0,59
R\$ 0,50 kg Milho					
2010/11	R100	1,30	1,37	1,05	1,11
	R80	1,19	1,25	0,96	1,01
	R55	1,10	1,16	0,88	0,94
	R30	0,77	0,81	0,62	0,66
2011/12	R100	1,22	1,28	0,99	1,04
	R80	1,17	1,23	0,94	1,00
	R65	1,06	1,11	0,86	0,91
	R55	0,94	0,99	0,76	0,80
	R45	0,87	0,92	0,71	0,75
	R40	0,86	0,91	0,70	0,74

R100 reposição de 100% da ETc; R80 reposição de 80 % da ETc; R65 reposição de 65 % da ETc; R55 reposição de 55 % da ETc; R45 reposição de 45 % da ETc; R40 reposição de 40 % da ETc e R30 reposição de 30 % da ETc ; (FG 0,2) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (FG 0,3) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m; (TG 0,2) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (TG 0,3) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m.

Neste estudo foi realizada uma análise de sensibilidade utilizando o preço de comercialização do milho de (R\$ 0,40 kg⁻¹) e considerando três cenários de alteração do custo de irrigação: um cenário que representou a condição atual de custos de irrigação e outros dois com um aumento/diminuição dos custos da irrigação em -25% e +25% para os gotejadores utilizados neste estudo. Na Tabela 5 são apresentados os resultados da variação do $EWPR_{full-}$

^{cost} considerando as alterações no custo da irrigação, para as quatro combinações de tubos gotejadores, no espaçamento entre laterais de 0,90 m. Com a redução dos custos da irrigação em 25%, somente o tratamento R100 apresentou um $EWPR_{full-cost}$ maior que 1, utilizando o gotejador Naan Slim com espaçamento entre emissores de 0,30 m. Com o aumento dos custos de irrigação em 25% os resultados de $EWPR_{full-cost}$ foram menores, e nenhum tratamento apresentou viabilidade econômica.

Quando foi aumentado o espaçamento entre linhas de gotejadores para 1,35 m (Tabela 6) e conseqüentemente, reduzido os custos de irrigação em 25%, os tratamentos R100 e R80 com os tubos gotejadores TG 0,2 e TG 0,3 apresentam $EWPR_{full-cost}$ superior a 1. Os demais tratamentos apresentam $EWPR_{full-cost}$ inferior a 1, mesmo para a condição de redução em 25% do custo da irrigação. Na situação de preços atuais de comercialização do milho, a irrigação deficitária utilizando o sistema de irrigação por gotejamento não é uma alternativa economicamente viável. Uma maneira para viabilizar esta tecnologia é a diluição dos custos anuais fixos do sistema de irrigação, com a utilização de outra cultura irrigada cultivada em segunda safra. Resultados de simulação econômica da rotação de culturas irrigadas apresentados por Rosa (2004) demonstram que a utilização de rotação de culturas com dois cultivos no verão apresenta maior receita líquida do que sistemas com um único cultivo no verão.

Os resultados econômicos avaliados na utilização dos tubos gotejadores neste experimento, não apresentam viabilidade econômica, independentemente do espaçamento entre as linhas laterais de gotejadores (0,9 e 1,35 m) e/ou com a redução dos custos relacionados à irrigação em 25%. Isto ocorre devido ao seu elevado custo inicial de instalação e pela reduzida vida útil especificada pelo fabricante.

Tabela 5. Análise de sensibilidade do índice de produtividade econômica da água, considerando o custo total de cultivo ($EWPR_{full-cost}$) para o preço de comercialização atual do milho e as opções de tubos gotejadores com linhas espaçadas em 0,9 m, nos anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12, considerando alteração no custo relacionado à irrigação.

Ano	Tratamento	FG 0,2	FG 0,3	TG 0,2	TG 0,3
Redução em 25% do custo relacionado à irrigação					
2010/11	R100	1,00	1,06	0,79	0,85
	R80	0,91	0,97	0,72	0,77
	R55	0,84	0,89	0,66	0,71
	R30	0,59	0,63	0,46	0,50
2011/12	R100	0,94	1,00	0,75	0,80
	R80	0,90	0,95	0,71	0,76
	R65	0,81	0,86	0,65	0,69
	R55	0,72	0,76	0,57	0,61
	R45	0,67	0,71	0,53	0,57
	R40	0,66	0,70	0,53	0,56
Custo relacionado a irrigação (valor atual)					
2010/11	R100	0,89	0,95	0,68	0,73
	R80	0,81	0,87	0,62	0,67
	R55	0,75	0,80	0,57	0,61
	R30	0,52	0,56	0,40	0,43
2011/12	R100	0,84	0,89	0,64	0,69
	R80	0,80	0,86	0,61	0,66
	R65	0,72	0,78	0,55	0,60
	R55	0,64	0,69	0,49	0,53
	R45	0,60	0,64	0,46	0,49
	R40	0,59	0,63	0,45	0,49
Aumento em 25% do custo relacionado a irrigação					
2010/11	R100	0,80	0,86	0,59	0,64
	R80	0,73	0,79	0,54	0,59
	R55	0,67	0,73	0,50	0,54
	R30	0,47	0,51	0,35	0,38
2011/12	R100	0,75	0,81	0,56	0,61
	R80	0,72	0,78	0,54	0,58
	R65	0,65	0,71	0,49	0,53
	R55	0,58	0,63	0,43	0,47
	R45	0,54	0,58	0,40	0,44
	R40	0,53	0,58	0,40	0,43

R100 reposição de 100% da ET_c ; R80 reposição de 80% da ET_c ; R65 reposição de 65% da ET_c ; R55 reposição de 55% da ET_c ; R45 reposição de 45% da ET_c ; R40 reposição de 40% da ET_c e R30 reposição de 30% da ET_c ; (FG 0,2) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (FG 0,3) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m; (TG 0,2) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (TG 0,3) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m

Tabela 6. Análise de sensibilidade do índice de produtividade econômica da água, considerando o custo total de cultivo ($EWPR_{full\ cost}$) para o preço de comercialização do milho e as opções de tubos gotejadores com linhas espaçadas a 1,35 m, nos anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12, considerando alterações nos custos relacionados à irrigação.

Ano	Tratamento	FG 0,2	FG 0,3	TG 0,2	TG 0,3
Redução em 25% do custo relacionado à irrigação					
2010/11	R100	1,14	1,19	0,95	1,00
	R80	1,04	1,09	0,87	0,91
	R55	0,96	1,00	0,80	0,84
	R30	0,67	0,70	0,56	0,59
2011/12	R100	1,07	1,11	0,90	0,94
	R80	1,02	1,06	0,86	0,90
	R65	0,92	0,96	0,77	0,81
	R55	0,82	0,85	0,69	0,72
	R45	1,14	1,19	0,95	1,00
	R40	1,04	1,09	0,87	0,91
Custo relacionado à irrigação (valor atual)					
2010/11	R100	1,04	1,10	0,84	0,89
	R80	0,95	1,00	0,76	0,81
	R55	0,88	0,93	0,71	0,75
	R30	0,61	0,65	0,49	0,52
2011/12	R100	0,97	1,02	0,79	0,84
	R80	0,93	0,98	0,76	0,80
	R65	0,85	0,89	0,68	0,72
	R55	0,75	0,79	0,61	0,64
	R45	0,70	0,74	0,56	0,60
	R40	0,69	0,73	0,56	0,59
Aumento em 25% do custo relacionado à irrigação					
2010/11	R100	0,95	1,01	0,75	0,80
	R80	0,87	0,93	0,68	0,73
	R55	0,81	0,86	0,63	0,67
	R30	0,57	0,60	0,44	0,47
2011/12	R100	0,90	0,95	0,71	0,75
	R80	0,86	0,91	0,68	0,72
	R65	0,78	0,83	0,61	0,65
	R55	0,69	0,73	0,54	0,58
	R45	0,64	0,68	0,51	0,54
	R40	0,64	0,68	0,50	0,53

R100 reposição de 100% da ETc; R80 reposição de 80% da ETc; R65 reposição de 65% da ETc; R55 reposição de 55% da ETc; R45 reposição de 45% da ETc; R40 reposição de 40% da ETc e R30 reposição de 30% da ETc; (FG 0,2) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (FG 0,3) fita gotejadora com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m; (TG 0,2) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m; (TG 0,3) tubo gotejador com espaçamento entre gotejadores de 0,30 m

6 CONCLUSÕES

Nas condições consideradas neste estudo os tratamentos com irrigação deficitária apresentam produtividade inferior à irrigação plena, entretanto, apresenta uma maior produtividade da água, para a cultura do milho irrigado por gotejamento.

A adoção da irrigação deficitária na cultura do milho irrigado por gotejamento não apresenta viabilidade econômica nas condições atuais de preço de comercialização milho utilizado neste estudo, porém um aumento do preço de comercialização do milho em 25% torna-se viável para déficits com reposição de 80% da evapotranspiração.

A viabilidade econômica da irrigação deficitária por gotejamento é dependente do custo fixo de aquisição das linhas laterais, do espaçamento entre as linhas de gotejamento e do preço de comercialização do milho.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper No. 56).
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J. L. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, p. 2-13, 2005.
- BOAS, R.C.V.; PEREIRA, G.M.; REIS, R.P.; JUNIOR, J.A. de L.; CONSONI, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Ciência agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 781-788, 2011.
- BOZKURT, Y.; YAZAR, A.; GENÇEL, B.; SEZEN, M. S. Optimum lateral spacing for drip-irrigated corn in the Mediterranean Region of Turkey. **Agricultural water management**, v. 85, p. 113-120, 2006.
- COLOMBO, A.; OR, D. Plant water accessibility function: A design and management tool for trickle irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 82, p. 45–62, 2006.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Custos de produção, culturas de verão**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=545&t=2>. Acesso em: 25 Jan. 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Custos de produção agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília: Conab, 2010. 60 p.
- COUTO, A.; RUIZ PADÍN, A.; REINOSO, B. Comparative yield and water use efficiency of two maize hybrids differing in maturity under solid set sprinkler and two different lateral spacing drip irrigation systems in León, Spain. **Agricultural Water Management**, v. 124, p. 77–84, 2013.
- EL-HENDAWY, S.E.; EL-LATTIEF, E.A.A.; AHMED, M.S.; SCHMIDHALTER, U.

Irrigation rate and plant density effects on yield and water use efficiency of drip-irrigated corn. **Agricultural Water Management**, v. 95, p. 836-844, 2008.

FERERES, E.; SORIANO, M.A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 147–159, 2007.

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

FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F.da; STRIEDER, M.L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A.A. da. Desempenho agrônomico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 399-407, 2006.

HENGGELER, J.C. **A history of drip irrigated cotton in Texas**. In: Lamm, F.R. (Ed.), *Microirrigation for a changing world: conservating resources/preserving the environment*. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress, 2–6 April, Orlando, FL, USA, 1995, p. 669–674.

KARAM, F.; BREIDY, J.; STEPHAN, C.; ROUPHAEL, J. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. **Agricultural Water Management**, v. 63, p. 125–137, 2003.

LAMM, F.R.; STONE, L.R.; MANGES, H.L.; O'BRIEN, D.M. Optimum lateral spacing for subsurface drip-irrigated corn. **Transactions of the ASAE**, v. 40, p. 1021–1027, 1997.

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. MARTINS, J.D.; RODRIGUES, G.C.; PAREDES, P.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z.B.; KNIES, A.E.; PETRY, M.T.; PEREIRA, L.S. Dual crop coefficients for maize in southern Brazil: model testing for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystems Engineering**, v. 115, p. 291-310, 2013.

MARTINS, J.D. Modelagem técnica e econômica da irrigação deficitária para diferentes métodos de aplicação de água na cultura do milho. 2013. 155p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PEDRAS, C.M.G.; PEREIRA, L.S.; GONÇALVES, J.M. MIRRIG: A decision support system for design and evaluation of microirrigation systems. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 691-701, 2009.

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

RODRIGUES, G.C.; SILVA, F.G.; PEREIRA, L.S. Assessing the feasibility of deficit irrigation under drought conditions. In: LÓPEZ-FRANCOS, A. (ed). **Economics of drought**

and drought preparedness in a climate change context. Zaragoza, Options Méditerranéennes Séries A 95, 2010, p. 285-291.

ROSA, G.M. da. Simulação econômica de rotação de culturas irrigadas na Região Central do Rio Grande do Sul. 2004. 104f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ROSA, R.D.; PAREDES, P.; RODRIGUES, G.C.; ALVES, I.; FERNANDO, R.M.; PEREIRA, L.S.; ALLEN, R.G. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1. Background and computational strategy. **Agricultural Water Management**, v. 103, p. 8–24. 2012.

REIS, R.P. **Fundamentos de economia aplicada**. 2.ed. rev.e ampl. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007. 95p.

SANGOI, L.; ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; MINETTO, T.J.; BISOTTO, V. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1021-1029, 2003.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; SILVA, P.R.F. da; HORN, D.; SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C.; MOTTER, F. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v. 36, p. 747-755, 2006.

ZWART, S.J.; BASTIAANSEN, W.G.M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. **Agricultural Water Management**, v. 69, p. 115–133, 2004.