

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS  
E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**MANEJO DA ÁGUA NA CULTURA DO MILHO EM GLEISSOLO  
HÁPLICO DISTRÓFICO TÍPICO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Joaquim Faraco Rodrigues**

**Porto Alegre, RS, Brasil  
2015**

**JOAQUIM FARACO RODRIGUES**

**MANEJO DA ÁGUA NA CULTURA DO MILHO EM GLEISSOLO  
HÁPLICO DISTRÓFICO TÍPICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientadora:** Profa. Nilza Maria dos Reis Castro

**Co-orientador:** Prof. José Antônio Louzada

**Porto Alegre, RS, Brasil  
2015**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, professora Nilza e o professor Louzada pela dedicação, amizade e paciência.

Aos colegas Matheus Maass, Natan Pagliarini, Guilherme Menezes, Lucas Hegele, Alexandre Rosa, Laís Miozzo, Cristhian Richetti, José Antonio Alves, Andrei Marafon e João Pedro Felin pela ajuda na realização do trabalho e pela amizade.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), em especial aos professores do Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, que possibilitaram a realização desse curso de mestrado.

Aos meus pais Rivadavia e Maria José e meu irmão Pedro pelo incentivo, amor e compreensão.

À todos meus familiares que me acompanharam em cada momento dessa fase, apoiando-me e ajudando-me, sempre de forma incondicional.

Ao professor Paulo Regis pela orientação no planejamento e condução do experimento com a sua experiência e amizade, foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) e a Estação Experimental do Arroz, pela viabilização de realização deste trabalho a campo, em especial ao Rodrigo Schoenfeld pela liberação da área experimental e conselhos durante os dois anos.

Aos técnicos e demais funcionários do Instituto Riograndense do Arroz pelo auxílio na realização do trabalho.

À equipe do laboratório de sedimentos, em especial aos técnicos Bruno e Aron, e aos estagiários Lucas e Guiniver; pela ajuda durante a realização das análises de laboratório, essenciais à continuidade dessa pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

## MANEJO DA ÁGUA NA CULTURA DO MILHO EM GLEISSOLO HÁPLICO DISTRÓFICO TÍPICO

**RESUMO:** Para a introdução da cultura do milho como alternativa de rotação de culturas em áreas cultivadas com arroz irrigado no Rio Grande do Sul, é necessário um sistema de irrigação e drenagem eficiente, sem ocasionar problemas de manejo para o cultivo do arroz. O objetivo deste trabalho é avaliar diferentes manejos de irrigação e drenagem visando introduzir o milho como alternativa técnica e econômica para rotação de cultura em Gleissolo Háplico Distrófico Típico, onde tradicionalmente se cultiva arroz. Foram avaliados alguns indicadores de rendimento do milho e a eficiência do uso da água (EUA) nas diferentes alternativas de manejos. Foram testados quatro tratamentos: (T1) microcamalhão de 15 cm de altura com irrigação por sulco sempre que necessário, (T2) uma testemunha com microcamalhão com 15 cm de altura sem irrigação, (T3) um sem construção de microcamalhão, com irrigação por banhos sempre que necessário, e (T4) outro sem construção de microcamalhão e sem irrigação. Todos os tratamentos foram realizados com três repetições. O experimento foi conduzido nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, na estação experimental do IRGA em Cachoeirinha-RS. Em todos os tratamentos a área foi nivelada com uma declividade de 0,08%, ao longo do comprimento das parcelas (79 m). A lâmina irrigada foi de 30 mm e as irrigações foram efetuadas de maneira complementar à chuva por sulcos ou banhos. Os resultados desta pesquisa demonstram que a drenagem foi eficiente nos dois anos, pois mesmo com ocorrência de eventos de chuva superiores a 50 mm em 24 horas, não houve problema de excesso hídrico. No primeiro ano foram aplicados 300 mm de irrigação (choveu 480 mm ao longo do desenvolvimento do milho) e os resultados indicam alta produtividade do milho (superiores a 10 Mg ha<sup>-1</sup>) para o tratamento irrigado e com microcamalhão. No segundo ano foram aplicados somente 90 mm de irrigação pois foi um ano muito úmido (choveu 620 mm durante o segundo ano agrícola). Em consequência disso, não houve diferença significativa nos resultados pois todas os tratamentos mantiveram-se na umidade ideal na maioria do tempo, apresentando altas produtividades de grãos (superiores a 13 Mg ha<sup>-1</sup>). O milho cultivado em áreas cultivadas com arroz irrigado no Rio Grande do Sul é tecnicamente e economicamente viável desde que ocorra o uso de irrigação e que se utilize um sistema de drenagem eficiente.

**Palavras-chave:** Zeamays; microcamalhão; solos mal drenados.

## WATER MANAGEMENT IN MAIZE ONGLEISSOLO HÁPLICO DISTRÓFICO TÍPICO

**ABSTRACT:** For the introduction of corn as crop rotation alternative in areas cultivated with rice in Rio Grande do Sul, efficient irrigation and drainage system is required, without causing management problems for rice cultivation. The objective of this study is to evaluate different management of irrigation and drainage aimed at introducing corn as technical and economical alternative to crop rotation in Gleissolo Háplico Distrófico Típico, where traditionally cultivated rice. We evaluated some corn performance indicators and efficiency of water use (EWU) in the different alternatives managements. Four treatments were tested: (T1) microcamalhão 15 cm with furrow irrigation whenever necessary, (T2) a witness with microcamalhão 15 cm without irrigation, (T3) without building microcamalhão, with irrigation when necessary, and (T4) without building microcamalhão and without irrigation. All treatments were performed with three replications. The experiment was conducted in the agricultural year 2013/2014 and 2014/2015, the IRGA's experimental station in Cachoeirinha-RS. In all treatments area was capped with a slope of 0.08% along the length of the parcels (79 m). Irrigated blade was 30 mm and irrigation was made in a complementary manner to rain by grooves or baths. These results demonstrate that the drainage was efficient in both years, since even the occurrence of rain events greater than 50 mm in 24 hours, there was no excess water problem. In the first year were applied 300 mm irrigation (480 mm rain during the development of corn) and the results indicate high corn yields (above 10 Mg ha<sup>-1</sup>) for the treatment irrigated and microcamalhão. In the second year there were only applied 90 mm of irrigation because it was a very wet year (620 mm rain during the second growing season) so there was no significant difference in the results for all treatments remained at the ideal humidity most of the time, high grain yield (above 13 Mg ha<sup>-1</sup>). The corn grown in areas cultivated with rice in Rio Grande do Sul is technically and economically feasible provided that there is an efficient irrigation and drainage system.

**Keywords:** Zea mays; microcamalhão; poorly drained soils.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da área experimental. ....	17
Figura 2. Perfil transversal dos tratamentos com microcamalhões, 15 centímetros de altura. .	17
Figura 3. Tratamentos sem microcamalhões. ....	18
Figura 4. Detalhe da localização da bomba, hidrômetro, canal de captação de água e da entrada de água nas parcelas.....	19
Figura 5. Localização do registro e das entradas de água em cada parcela.....	19
Figura 6. Curva de retenção de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico da camada superficial (0-0,2m) coletado em áreas cultivadas com arroz irrigado no município de Pelotas/RS (Silva, 2009).....	20
Figura 7. Precipitações, irrigações e evapotranspiração potencial da cultura do milho (mm) e teor de umidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), durante o ano agrícola 2013/2014. ....	27
Figura 8. Milho apresentando sinais de estresse por deficiência hídrica, ano agrícola 2013/2014. ....	27
Figura 9. Precipitações, irrigações e evapotranspiração potencial da cultura do milho (milímetros) e teor de umidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), durante o ano agrícola 2014/2015. ....	29
Figura 10. Drenagem eficiente independente do tratamento proposto, após precipitações elevadas durante um período de três dias. Ano agrícola 2014/2015. ....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Incremento de produtividade na cultura do milho pela a utilização de vários métodos de irrigação em diferentes locais do mundo.....	9
Tabela 2. Eficiência do uso da água (EUA) para cultivo de milho com diferentes métodos de irrigação, considerando apenas o volume de água aplicado por irrigação. ....	12
Tabela 3. Valores de coeficientes "C" e "a" para diferentes tipos de solos (Hamad, apud Salassier, 1989) para serem aplicados na equação de Gardner. ....	22
Tabela 4. Coeficiente da cultura (Kc) do milho conforme Bergamaschi et al. (1992).....	23
Tabela 5. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência de uso da água (EUA) do milho em função dos fatores irrigação e microcamalhão, em dois anos agrícolas, na média de três distâncias em relação à tomada de água. Cachoeirinha-RS. ....	32
Tabela 6. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência de uso da água (EUA) do milho em função dos fatores irrigação e distância da entrada de água, em dois anos agrícolas, na média com ou sem do microcamalhão. Cachoeirinha-RS.....	33
Tabela 7. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência do uso da água (EUA) do milho em função dos fatores microcamalhão e distância da entrada de água, em dois anos agrícolas, na média com ou sem irrigação. Cachoeirinha-RS. ....	34
Tabela 8. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência do uso da água (EUA) do milho em função dos fatores microcamalhão, distância da entrada de água e irrigação, em dois anos agrícolas, na média das três repetições. Cachoeirinha-RS. ....	36
Tabela 9. Custos fixos e variáveis para os diferentes manejos de irrigação e drenagem, ano agrícola 2013/2014. ....	38
Tabela 10. Custos fixos e variáveis para os diferentes manejos de irrigação e drenagem, ano agrícola 2014/2015. ....	39
Tabela 11. Rendimento de grãos e componentes do rendimento da cultura do milho, nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, na média das três repetições. Cachoeirinha-RS. ....	40
Tabela 12. Receita Bruta, Custo de Produção e Margem Bruta, em R\$ ha <sup>-1</sup> , para os anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, Cachoeirinha/RS. ....	41
Tabela 13. Resumo da análise de variância dos resultados da análise agronômica para as avaliações de rendimento de grãos, componentes do rendimento e EUA, Cachoeirinha, RS. Ano agrícola 2013/2014. ....	51
Tabela 14. Resumo da análise de variância dos resultados da análise agronômica para as avaliações de rendimento de grãos, componentes do rendimento e EUA, Cachoeirinha, RS. Ano agrícola 2014/2015. ....	51
Tabela 15. Resumo da análise de variância dos resultados da análise econômica para as avaliações de rendimento de grãos e componentes do rendimento, Cachoeirinha, RS. Ano agrícola 2013/2014. ....	52
Tabela 16. Resumo da análise de variância dos resultados da análise econômica para as avaliações de rendimento de grãos e componentes do rendimento, Cachoeirinha, RS. Ano agrícola 2014/2015. ....	52

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Eficiência do Uso da Água .....	12
Equação 2. Dose líquida de irrigação .....	20
Equação 3. Dose bruta de irrigação .....	21
Equação 4. Vazão máxima não erosiva de “Gardner” .....	22
Equação 5. Evapotranspiração de Referência diária pelo método Penman-Monteith FAO.....	22
Equação 6. Evapotranspiração da cultura.....	23

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	HIPÓTESE DE TRABALHO .....	4
3	OBJETIVO.....	4
4	META.....	4
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
5.1	Rotação de culturas .....	6
5.2	A cultura do milho .....	8
5.3	Manejo da água na cultura do milho.....	8
5.4	Eficiência do uso da água (EUA) .....	12
5.5	Análise de viabilidade econômica .....	14
6	MATERIAL E MÉTODOS .....	16
6.1	Área de estudo .....	16
6.2	Material.....	16
6.3	Métodos .....	22
6.3.1.	Parâmetros do balanço climático .....	22
6.3.2.	Análise Agronômica .....	23
6.3.3.	Análise Econômica.....	24
7	RESULTADOS E DISCUSÃO .....	26
7.1	Balanço climático e avaliação da drenagem .....	26
7.2	Avaliações agronômicas .....	30
7.2.1	Análise dos fatores irrigação e microcamalhão.....	31
7.2.2	Análise dos fatores irrigação e distância em relação da entrada de água da irrigação.....	33
7.2.3	Análise dos fatores microcamalhão e distância em relação da entrada de água da irrigação.....	34
7.2.4	Análise dos fatores microcamalhão x distância em relação da entrada de água da irrigação x irrigação .....	35
7.3	Análise Econômica .....	37
8	CONCLUSÕES.....	42
9	RECOMENDAÇÕES .....	44
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
11	ANEXOS.....	51
11.1	Anexo 1.....	51

11.2	Anexo 2.....	51
11.3	Anexo 3.....	52
11.4	Anexo 4.....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul (RS) é responsável por 45% da área cultivada e por 69% da produção brasileira de arroz (IRGA, 2013), tendo este cereal grande importância econômica e social no Estado. A produtividade média de arroz do RS é de 7,5 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto que a média brasileira é de 4,9 Mg ha<sup>-1</sup> (IRGA, 2013). Essa diferença de produtividade pode ser justificada pelo fato de que praticamente em toda a área semeada com arroz no RS e SC é utilizada a irrigação por inundação, enquanto que nas demais regiões brasileiras se utilizam o cultivo do arroz de sequeiro. O arroz de sequeiro é cultivado em cerca de 43% da área total cultivada de arroz no Brasil (CONAB, 2013).

Entretanto esta alta produtividade verificada no RS pode estar ameaçada, pois o aumento da infestação de plantas daninhas, principalmente do arroz vermelho, vem sendo percebido em áreas cultivadas com arroz. Sabe-se que a maioria das plantas daninhas do arroz pode ser controlada pelo uso de herbicidas unido com a aplicação da lâmina de água utilizada pelo método de irrigação por inundação, tradicionalmente utilizado para a irrigação do arroz no RS. Já para o arroz vermelho, a erradicação se torna mais difícil, pois o uso de herbicidas se torna ineficiente, por esta planta daninha ser da mesma espécie do arroz cultivado.

Uma alternativa para controle do arroz vermelho é a realização do pousio durante três anos, que nada mais é do que o descanso da área durante este período, somada à prática de pecuária extensiva de corte, estratégia comum no estado do RS. Outra maneira para controlar a infestação de arroz vermelho em áreas de arroz irrigado é a introdução de rotação de culturas. Como o arroz é uma cultura cultivada no verão no RS, a soja e/ou o milho, que também são culturas de verão, poderiam ser cultivados quando as áreas de arroz estivessem em pousio. O uso de rotação do milho em áreas cultivadas de arroz irrigado pode servir como uma ferramenta para diminuir a infestação de invasoras, principalmente de arroz vermelho, pela utilização de híbridos de milho com tecnologia “RR”, que confere resistência ao herbicida glifosato (Silva e Schoenfeld, 2013).

A introdução do milho em rotação ao arroz também visa à diversificação de renda, aumentando assim a rentabilidade da área cultivada e diminuindo os riscos econômicos da utilização de monocultura (Wander *et al.*, 2010). Além da introdução do milho na rotação de cultura com o arroz contribuir para a redução da infestação de plantas daninhas, ela traz também outros benefícios como: ambientais, pela diminuição do uso de agrotóxicos para o controle das plantas daninhas; econômicos, pelo fato de propiciar ao agricultor lucratividade com a implantação de uma cultura de verão em vez da terra ficar em pousio; e sociais, pela

diminuição do risco comparado a monocultura e o aumento da mão de obra para a prática da cultura de verão em substituição ao pousio.

Porém, para que se viabilize a introdução de culturas de rotação em áreas tradicionalmente cultivadas com arroz, é necessário que haja um eficiente sistema de drenagem, sem ocasionar problemas de manejo no cultivo da cultura introduzida, pois os solos onde se cultiva o arroz são muito mal drenados. Isso não é um problema para o arroz, pois ele é uma espécie aquática, mas pode ser um problema para outras culturas. Uma maneira de se realizar uma drenagem eficiente é a sistematização do terreno em declividade, em até 0,5% (INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DO MILHO E DO SORGO NO RIO GRANDE DO SUL SAFRAS 2013/2014 e 2014/2015). Em geral, a sistematização das áreas cultivadas com arroz irrigado é feita sem nenhuma declividade para melhor aproveitamento da água. Porém, a declividade serve para que ocorra o escoamento superficial da água assim que cesse a infiltração no solo.

Outra maneira de se proporcionar drenagem eficiente é a utilização do sistema de microcamalhão. Neste método a cultura é semeada em cima da crista do microcamalhão para evitar que a planta fique debaixo d'água, e são formados pequenos sulcos paralelos a linha de cultivo, que deixam mais uniforme o avanço da água de irrigação na área cultivada, além de facilitar a drenagem. Uma máquina agrícola que faz simultaneamente o microcamalhão, o sulco, a adubação e a semeadura foi desenvolvida pela empresa Industrial KF, sendo possível o cultivo de seis linhas de milho em cada passada do equipamento.

Entretanto, apenas a utilização de drenagem eficiente não é o suficiente para que altas produtividades sejam atingidas. É necessária a união de várias práticas de manejo (Sangoi *et al.*, 2006), como o uso de adubação adequada (Cancellier *et al.*, 2011), a escolha do método de cultivo (Verneti Junior *et al.*, 2009), o controle de pragas (Figueiredo *et al.*, 2006), a escolha da época preferencial de semeadura (Forsthofer *et al.*, 2006), visando ao melhor aproveitamento da radiação solar, além é claro de um bom manejo de irrigação (Bergamaschi *et al.*, 2006) e drenagem (Alberti *et al.*, 2013).

Forsthofer *et al.* (2006) demonstraram que o aumento do uso das práticas de manejo estão ligadas as maior produtividades. Apesar de apresentar um custo elevado, a receita obtida também é maior quando se eleva o nível de tecnologia aplicado, gerando assim uma maior rentabilidade. Sangoi *et al.* (2006) também associam a adoção de maior investimentos em insumos e tecnologia na lavoura, como aspectos fundamentais para o acréscimo do rendimento de grãos, logo, melhoria do retorno econômico na cultura do milho.

A introdução de rotação de culturas em áreas de cultivo de arroz irrigado é uma demanda atual do governo do Estado do RS, que busca o incremento de novas culturas no RS. Pesquisas sobre o uso de sulco/camalhão vêm sendo desenvolvidas e publicadas por entidades como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em forma de boletins (Silva *et al.*, 2007), o Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), (Alberti *et al.*, 2013) e por universidades. A EMBRAPA iniciou seus primeiros experimentos em áreas de arroz irrigado na década de 1970, gerando informações disponíveis em recomendações para o cultivo do milho nestas áreas (INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DO MILHO E DO SORGO NO RIO GRANDE DO SUL SAFRAS 2013/2014 e 2014/2015). A soja nos últimos anos apresentou um avanço significativo em área cultivada, alcançando no ano agrícola 2012/2013 cerca de 300.000 hectares cultivados em áreas de arroz no RS (IRGA, 2014). O cultivo milho em área de arroz foi incrementado a partir de 1997, sendo cultivados 50.000 hectares no ano agrícola 1999/2000 (Parfitt, 2000). As pesquisas para o cultivo do milho em áreas de arroz vêm sendo realizadas há alguns anos, porém de forma descontínua Silva e Schoenfeld (2013), havendo necessidade de mais informações como a vazão de irrigação ideal, o comprimento do sulco e a declividade para os diferentes tipos de solo onde se cultivam arroz. Assim, estudos envolvendo irrigação e drenagens eficientes para culturas de rotação em áreas cultivadas com arroz irrigado são necessários, podendo proporcionar novos rumos ao setor orizícola no estado do RS.

## **2 HIPÓTESE DE TRABALHO**

A hipótese desta pesquisa foi de que a irrigação por sulcos e o uso de microcamalhão e sistematização do solo com declive são práticas eficientes para viabilizar o cultivo do milho em área de arroz irrigado.

## **3 OBJETIVO**

O objetivo desta pesquisa foi avaliar diferentes manejos de irrigação e drenagem visando a introduzir o milho como alternativa para rotação de culturas em Gleissolo Háplico Distrófico Típico, onde tradicionalmente se cultiva arroz, e avaliar a viabilidade econômica.

As etapas para o desenvolvimento desta pesquisa foram:

- Avaliar dois manejos de drenagem: sistematização da área em declividade de 0,08% junto com o uso de microcamalhões; sistematização da área em declividade sem o uso de microcamalhões, e analisar qual dos dois sistemas é mais eficiente em termos agronômicos e econômicos;
- Avaliar dois métodos de irrigação, ambos em áreas com declividade de 0,08%: sulcos (com microcamalhões) e banhos (sem microcamalhões), e analisar qual o método mais eficiente em termos agronômicos e econômicos;
- Realizar avaliações agronômicas e da eficiência do uso da água (EUA) para analisar o comportamento agronômico do milho nas condições apresentadas a campo e medir o consumo de água para produzir 1quilograma de arroz nos diferentes tratamentos;
- Realizar uma análise econômica para analisar se a introdução do milho em rotação com o arroz pode ser feita de maneira economicamente viável.

## **4 META**

Este trabalho teve como meta desenvolver um estudo científico com aplicações práticas e estudo de viabilidade agronômica e financeira e gerar informações para que sirvam como referências técnicas no futuro para os agricultores que cultivam arroz no estado do Rio Grande do Sul.

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A história mostra que em praticamente todas as etapas da civilização humana, desde o desenvolvimento agrícola e industrial até valores culturais e religiosos da sociedade, a água é o recurso mais importante para desenvolvimento humano (Faber, 2011). A água serve como fator de desenvolvimento, pois o seu uso está diretamente relacionado com atividades econômicas. Os usos mais corriqueiros e frequentes dos recursos hídricos são: abastecimento público, irrigação, dessedentação animal, uso industrial, hidroeletricidade, navegação, lazer e diluição de esgotos domésticos. Entretanto se faz necessário considerar que, no Brasil, segundo a ANA (2007) 46% do consumo de água advém da agricultura irrigada, o que mostra que a economia e a otimização do uso destes recursos são essenciais para a conservação da qualidade da vida da população mundial. É preciso destacar que o uso de água na agricultura é, na verdade, somente uma fase do ciclo hidrológico, a água é utilizada para o desenvolvimento da planta e depois transpirada, regressando à atmosfera.

Incontestavelmente, o aumento da área irrigada tem papel fundamental no aumento da produtividade, pois a adoção de técnicas de irrigação faz com que os produtores diminuam seus riscos (Testezlaf *et al.*, 2002). Porém apenas o uso de irrigação não é a solução para altas produtividades, é necessário um manejo de irrigação apropriado de modo que não se utilize um volume de água inadequado, pois o solo deve ser mantido entre a umidade correspondente ao limite hídrico da cultura e a capacidade de campo. Fora desses limites, pode ocorrer déficit ou excesso hídrico, prejudicando o desenvolvimento da planta. Como exemplo, o milho é muito sensível à utilização de irrigação, apresentando um aumento de rendimento de grãos a partir do uso desta técnica (Rodríguez *et al.*, 2011); (Dagdelen *et al.*, 2006).

Apesar do Estado do Rio Grande do Sul apresentar precipitações uniformes durante o ano, períodos de estiagem podem ser observados principalmente durante o verão em regiões como Campanha, Fronteira Oeste e Zona Sul. Portanto utilização de irrigação complementar se torna necessária em alguns anos. No estado do RS há uma possibilidade de 40% de ocorrência de déficit hídrico, considerando os anos 1913 e 1990 (Matzenauer *et al.*, 2002). Desta forma, em regiões ecoclimáticas com intensa e frequente ocorrência de deficiência hídrica, é muito importante a implantação da irrigação complementar, pois ela torna os cultivos menos dependentes do regime de precipitação pluvial. Por exemplo, para a cultura do milho, por ser muito sensível ao estresse hídrico, o uso da irrigação se torna essencial para que não ocorram variações de produtividade entre os anos, gerando maior

segurança quanto à estabilidade no rendimento de grãos. Matzenauer *et al.* (1998a e 1998b) citam a má distribuição e o baixo volume precipitado como causa para queda do rendimento de culturas de primavera-verão no RS.

Nos últimos anos o milho surgiu como alternativa para rotação de culturas em áreas cultivadas com arroz irrigado no RS, uma vez que nessas áreas foram detectadas o aumento da infestação de plantas daninhas, principalmente do arroz vermelho pelo cultivo sucessivo do arroz. Essa rotação aumenta a rentabilidade da área cultivada (Verneti Junior *et al.*, 2003) e diminui os riscos econômicos da utilização de monocultura (Wander *et al.*, 2010).

## 5.1 Rotação de culturas

O sistema de rotação de culturas consiste na alternância de diferentes espécies vegetais ao longo de um período no mesmo local e na mesma época de cultivo. A escolha das espécies pode ter propósito comercial, vislumbrando maior lucro, ou ambiental, buscando a recuperação do solo por exemplo. Entre as vantagens da adoção desse sistema pode-se citar a reciclagem de nutrientes (Rego, 1994), a menor incidência de plantas daninhas (Silva *et al.*, 2006), melhorar a estrutura do solo (Neto *et al.*, 2006) e estabilização do rendimento de grãos (Santos *et al.*, 2000).

Em áreas de arroz irrigado, no Estado do Rio Grande do Sul, normalmente se faz a rotação com pecuária, pois há certa restrição com a utilização de culturas como o milho. Porém, com a alta ocorrência de plantas daninhas, principalmente do arroz vermelho, o milho aparece como alternativa interessante para diminuir esta infestação, utilizando híbridos de milho com tecnologia “RR” (resistente a glifosato) (Silva e Schoenfeld, 2013). Contudo, para a introdução do milho em áreas cultivadas com arroz, é necessário que se prepare um sistema de drenagem eficiente somado a utilização de demais práticas de manejo para o alcance de altas produtividades (INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DO MILHO E DO SORGO NO RIO GRANDE DO SUL SAFRAS 2013/2014 e 2014/2015), buscando que o milho seja uma alternativa sustentável. As áreas cultivadas com arroz se caracterizam pelo uso de sistemas de drenagem superficial convencional, muitas vezes ineficiente. A falta de declividade aumenta as dificuldades, pois em um terreno plano quando ocorre uma precipitação, a formação de micro bacias na área dificulta a implantação de um sistema de rotação de culturas, com a cultura do milho.

Para a implantação do milho são necessárias alternativas para realização de uma drenagem eficiente, contudo deve-se levar em consideração que o sistema de irrigação e drenagem seja adequadamente ajustado para todas as culturas implantadas que fazem parte do sistema de produção. O sistema de drenagem superficial deve ser adequado, e simultaneamente não apresentar problemas para o cultivo principal do sistema de produção, neste caso o arroz, sobretudo após a colheita da cultura de rotação, referente ao preparo do solo.

Uma alternativa é a sistematização do terreno em declividade. Recomenda-se uma declividade uniforme de até 0,5% (INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DO MILHO E DO SORGO NO RIO GRANDE DO SUL SAFRAS 2013/2014 e 2014/2015). Uma vantagem do uso da declividade é que pode se utilizar o plantio direto, da mesma maneira que é cultivado na região do Planalto. Pelo fato do plantio direto apresentar vantagens como maior capacidade de retenção e infiltração de água no solo e perda de nutrientes para as partes mais profundas do solo. A sistematização em declividade pode ser aproveitada por mais de um ano, sem a necessidade de uma nova sistematização nos anos seguintes. O sistema de sulco/camalhão também surge como outra alternativa de drenagem eficiente, sem a necessidade do uso de sistematização em declividade da área. Este sistema é estudado por algumas instituições de pesquisas como o IRGA e a EMBRAPA, tendo resultados para o cultivo da soja com este sistema.

Em experimento realizado no município de Capão do Leão, na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado (Verneti Junior, 2007). Avaliou o sistema sulco/camalhão e convencional para cultura da soja em áreas de várzeas sistematizadas sem declividade. Foi concluído que os rendimentos de grãos atingidos utilizando sulco/camalhão em geral foram superiores aos obtidos no sistema convencional, ambos irrigados. O autor também constatou que o fator irrigação aumentou de produtividade da cultura, em relação aos cultivos não irrigados.

Basicamente são formados pequenos sulcos no solo e a semente do milho é semeada na copa do camalhão, evitando que a semente ou a planta fique de baixo d'água. Na ocorrência de precipitações a água tende a escoar nos sulcos sem que fique água empoçada na copa do camalhão. Estes sulcos além de servirem como uma alternativa de drenagem possibilita também a irrigação.

Verneti Junior *et al.* (2009) realizaram uma pesquisa, em Pelotas, RS, em Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, com variações de culturas de inverno e culturas de

verão realizando rotação entre arroz, milho e soja durante cinco anos. Utilizando dois tipos de sistemas de plantio, direto e convencional. Os autores concluíram que o arroz irrigado possuiu maior produtividade em rotação a cultura do milho e que o melhor sistema de plantio foi o direto.

## **5.2 A cultura do milho**

O milho (*Zea mays*) é um conhecido cereal, cultivado em grande parte do mundo. Tem origem na América Central, mais precisamente no México. O milho é extensivamente utilizado como alimento humano ou ração animal, devido às suas qualidades nutricionais. Segundo o United State Department of Agricultur (USDA, 2013), os Estados Unidos, China e Brasil são responsáveis por 62% da produção de milho do mundo, sendo os Estados Unidos o principal produtor com 315 milhões de toneladas, a China em segundo com 182 milhões de toneladas, e o Brasil em terceiro com 61 milhões de toneladas. No ano agrícola 2012/13, foram produzidos 860,1 milhões de toneladas numa área de 175 milhões de hectares no mundo, com produtividade média de 4,9 Mg ha<sup>-1</sup>.

Atualmente é uma das culturas mais difundidas no País com uma área total semeada de 15 milhões de hectares com produtividade média de 5 Mg ha<sup>-1</sup>. As regiões Centro-oeste e Sul são as que mais contribuem com o cultivo do milho com destaque para os Estados do Mato Grosso e Paraná que representam cerca da metade da produção total do país (IBGE, 2013). No ano agrícola 2012/2013 o estado do RS cultivou cerca de 1 milhão de hectares de milho com produtividade de 5,2 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2013).

O milho necessita de elevada demanda de água, porém é uma das culturas mais eficientes quanto ao uso da água, isto é, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida. Por exemplo, no Brasil, uma variedade de ciclo médio cultivado para produção de grãos secos utiliza de 400 a 700 mm de água até o final do seu ciclo, dependendo das condições meteorológicas. A ocorrência de déficit hídrico, dependendo em que fase ocorre, pode acarretar em perdas de até 50% da produtividade (EMBRAPA, 2009).

## **5.3 Manejo da água na cultura do milho**

O sistema de irrigação mais utilizado para a cultura do milho é o pivô central, entretanto os sistemas mais apropriados são o de sulcos e subirrigação pouco utilizado no Brasil (EMBRAPA, 2006). As principais vantagens do método de irrigação por sulco são: possui menor custo fixo e operacional, diminui a incidência de doenças e fungos pelo fato de

não molhar as folhas, não sofre efeito de vento e menor consumo de energia quando comparado com aspersão. Todavia, para o sucesso da irrigação por sulcos, principalmente em solos mal drenados, é recomendada a regularização da declividade e do micro relevo do solo, ou seja, sistematização do terreno, beneficiando tanto a irrigação quanto a drenagem.

Muitos trabalhos mostram como a cultura do milho é sensível ao uso de irrigação, independentemente do tipo de irrigação, seja ela por sulcos, aspersão ou gotejamento (Tabela 1). Para todos esses métodos de irrigação o milho responde de maneira eficiente incrementando a produtividade conforme a dose de irrigação aplicada.

Tabela 1. Incremento de produtividade na cultura do milho pela a utilização de vários métodos de irrigação em diferentes locais do mundo.

Autor (s)	Tipo de irrigação	Incremento de produtividade (%)	Local
Bergamaschi <i>et al.</i> (2004)	Aspersão	400	Eldorado do Sul, RS, Brasil.
Sepaskhah e <i>Khajehabdollahi</i> (2005)	Sulcos	91	Irã
Dag˘delen <i>et al.</i> (2006)	Sulcos	277	Turquia
Silva <i>et al.</i> (2007)	Banhos	323	Pelotas, RS, Brasil.
Silva <i>et al.</i> (2007)	Sulcos	298	Pelotas, RS, Brasil.
Rodríguez <i>et al.</i> (2011)	Gotejamento	87	Uruguai
Alberti <i>et al.</i> (2013)	Aspersão	17	Cachoeirinha, RS, Brasil.
Alberti <i>et al.</i> (2013)	Sulcos	31	Cachoeirinha, RS, Brasil.

Resultados expressivos são alcançados com o manejo de irrigação por aspersão, como os apresentados por Bergamaschi *et al.* (2004), em Eldorado do Sul, RS. Os autores testaram três classificações de dose de irrigação: completa, intermediária e sem irrigação. O maior rendimento médio foi obtido pela dose completa, seguindo bem próximo pela irrigação intermediária. Os autores perceberam que quando o déficit hídrico ocorre no florescimento, o impacto no rendimento de grãos é maior. Este trabalho nos permite concluir que em anos em que existe escassez de água para a irrigação, deve se utilizar esta água no período mais crítico, otimizando o uso da água e evitando perdas de produtividade.

Outros métodos de irrigação são possíveis para a cultura do milho. Na Zona Sul e Fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul, que se cultiva tradicionalmente arroz, pois os solos mal drenados são propícios para isso, já se tem pronto um sistema de irrigação por inundação, com canais de irrigação, bombas, etc.. O método de irrigação por inundação total não seria adequado para o milho, pois além de prejudicar o milho por excesso hídrico, gastaria

muita água sem necessidade. Uma alternativa seria o uso de irrigação por inundação parcial (banhos na cultura somente quando necessário) ou o método de sulcos.

Em um experimento, conduzido no Iran em solo franco argiloso, com irrigação de milho por sulcos, alternando intervalo de dias de irrigação e manejo de irrigação nos sulcos, os melhores rendimentos foram obtidos com irrigação em todos os sulcos e o menor intervalo de irrigação que era de quatro dias, mostrando também uma queda de rendimento cada vez que se aumentava o intervalo de dias de irrigação (Sepaskhah e *Khajehabdollahi*, 2005). Isso ocorreu pelo fato de ocorrer variação de volume de água em cada tratamento. Analisando este trabalho pode-se concluir que apesar de se utilizar um maior volume de água a reposição de água em um intervalo mais curto é mais eficiente unida com estratégia de irrigar todos os sulcos é a mais eficiente. Contudo, uma informação importante é a utilização de irrigação em sulcos alternados, fixos ou variados, foi possível notar produtividade próxima à estratégia de irrigação de todos os sulcos quando utilizado o menor intervalo de irrigação.

Em experimento na Turquia, com irrigação de milho por sulcos, em solos franco-arenosos, com variação de dose irrigada. Os autores relatam que houve um significativo acréscimo de rendimento de grãos de milho quanto ao aumento da dose de irrigação. Este trabalho apresentou uma boa eficiência quanto a utilização de sulcos mesmo sendo cultivado em solos arenosos, apresentando um aumento de produtividade conforme o aumento da dose irrigada Dagdelen *et al.* (2006).

Em experimento com cultivo do milho em Pelotas, RS, com tratamentos onde ocorriam variações quanto à largura de sulcos, a declividade e o uso ou não de irrigação. Todos os tratamentos apresentaram em geral produtividades semelhantes quanto à variação de largura de sulcos e área com declividade ou não, entretanto a não utilização de irrigação reduziu o rendimento de grãos, pela ocorrência de déficit hídrico, em duas dos três anos agrícolas estudadas. Este estudo mostrou a possibilidade de se introduzir milho como alternativa de rotação em áreas de arroz no RS, apresentando produtividades de até 10,2 Mg ha<sup>-1</sup> com o uso de camalhões e 9,4 Mg ha<sup>-1</sup> sem camalhões, com o uso de declividade e sem declividade, sempre que irrigados por sulcos ou inundação sem formação de lâmina Silva *et al.* (2007).

Em experimento realizado em Jaguari, RS. Utilizaram duas cultivares de milho, com o manejo de irrigação por aspersão. Em um tratamento, o controle da aplicação de irrigação foi feito através da evapotranspiração da cultura, estimada pelo método do tanque classe A, variando a dose irrigada, enquanto no outro tratamento o controle da aplicação da

irrigação era feita através de leitura de sensores dielétricos no solo (TDR). Não houve diferença significativa entre estratégias de irrigação utilizadas. Esta pesquisa não possui um tratamento testemunha sem irrigação, porém apenas com o uso de diferentes estratégias de manejo foi possível notar um incremento de produtividade de até 25%, variando apenas dose aplicada Soares *et al.* (2010).

No estudo realizado no Uruguai (Rodríguez *et al.*, 2011) onde os autores utilizaram o método de irrigação por gotejamento em milho, variando as doses aplicadas conforme a evapotranspiração potencial (ET<sub>0</sub>), desde sem irrigação até a 90% da ET<sub>0</sub>. Os autores concluíram que houve aumento de produtividade conforme o aumento da dose utilizada e que irrigação incrementou 87% da produtividade do milho em relação ao milho não irrigado. Apesar da irrigação por gotejamento não ser uma prática muito utilizada para o cultivo do milho, a resposta deste se mostrou muito eficiente quanto ao uso da irrigação. Entretanto deve-se avaliar a viabilidade econômica do uso deste método, por ele apresentar alto custo inicial.

Com a necessidade da introdução do milho em rotação com o arroz irrigado no RS, a irrigação surge com um papel fundamental para que o cultivo do milho seja viável. A irrigação por sulcos seria a mais adequada para o cultivo do milho em rotação do arroz, pelo fato de possuir um baixo custo, pois para a implantação deste método não são necessários muitos equipamentos, é necessário principalmente uma estrutura de canais de irrigação, que já encontra-se pronta devido a irrigação do arroz. Também é necessário a construção dos sulcos, mas estes são necessários também para os outros métodos, já que eles serão usados para drenagem. Já os métodos de irrigação por aspersão e gotejamento apresentam maior custo de implantação.

O cultivo de arroz irrigado no RS se dá na sua maior parte em áreas com solos mal drenados e com topografia muito plana. A utilização de sulcos surge como uma boa alternativa para a rotação de culturas, pois os sulcos podem servir como pequenos drenos dentro da lavoura, não deixando a água empoçada que pode causar queda de rendimento por excesso hídrico. Esta técnica já está sendo utilizada no cultivo de soja em áreas de arroz irrigado e está obtendo bons resultados (Turra *et al.*,2013).

Alberti *et al.* (2013) conduziram experimento onde o objetivo foi avaliar diferentes manejos de irrigação (aspersão e sulcos) com a utilização de microcamalhão, para melhor adequar a cultura do milho em áreas de arroz irrigado. O experimento foi realizado em dois locais, Cachoeira do Sul, RS e Cachoeirinha, RS com os respectivos tipos de solos

Planossolo Hidromórfico, Gleissolo Háptico Distrófico Típico e semeado em duas épocas. Em Cachoeira do Sul nas duas épocas de semeaduras foi possível notar o acréscimo de rendimento de grãos em relação ao tratamento sem irrigação, independente do manejo de irrigação. Em Cachoeirinha, em ambas as épocas de semeadura, a irrigação por sulco se sobressaiu sobre os demais tratamentos.

Apesar de já existirem trabalhos mostrando que é possível obter-se produtividades entre 10 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> para milho cultivado em áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado, ainda existe a necessidade de pesquisa sobre a viabilidade econômica da introdução do milho em áreas de arroz irrigado. A adoção da rotação de culturas milho/arroz irrigado resultará em uma menor necessidade do uso de herbicidas para controle de plantas daninhas e maior retorno econômico.

#### 5.4 Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência do uso da água (EUA) é a relação entre as quantidades de produto comercial produzido (PG), quilogramas, e o volume de água irrigado somado ao volume precipitado durante todo o desenvolvimento da planta (VT), em metros cúbicos, Equação 1. Ressalta-se que nesta pesquisa foi incluída a água advinda de precipitações nesse período conforme (Scivittaro *et al.*, 2008), (Murlikiet *et al.*, 2009), (Petryet *et al.*, 2011) e (Marcolin *et al.*, 2011). A Tabela 2 apresenta alguns resultados da EUA para o cultivo do milho.

$$EUA = \frac{PG}{VT} \quad (1)$$

Tabela 2. Eficiência do uso da água (EUA) para cultivo de milho com diferentes métodos de irrigação, considerando apenas o volume de água aplicado por irrigação.

Autor(s)	Tipo de irrigação	Eficiência do uso da água (kg m <sup>-3</sup> )	Local
Kang <i>et al.</i> (2000)	Sulcos	5,75	China
Dag̃delen <i>et al.</i> (2006)	Sulcos	3,75	Turquia
Abd El-Wahed <i>et al.</i> (2013)	Gotejamento	1,41	Líbia
Abd El-Wahed <i>et al.</i> (2013)	Aspersão	0,94	Líbia

Kang *et al.*(2000) em experimento com cultivo de milho, na China, onde foi irrigado por sulcos com três estratégias de manejo e variando a dose de água aplicada, em dois anos. A EUA ficou na faixa de 3,4 a 5,7 kg m<sup>-3</sup> no primeiro ano, no segundo ano ocorreu

queda na produtividade, conseqüentemente na EUA que ficou entre 2,6 e 5,1 kg m<sup>-3</sup>. Em ambas os anos a maior EUA foi para as menores doses de irrigação, diminuindo conforme o aumento da dose irrigada. Nos dois anos foram registrados cerca de 80 mm de precipitação durante o desenvolvimento do milho porém apenas o volume de água aplicado pela irrigação foi usado para o cálculo da EUA. Somando-se os valores precipitados com os valores aplicados na irrigação as EUA obtidas variaram entre 2,1 a 3,7 kg m<sup>-3</sup>. O cálculo da EUA adicionando o valor precipitado pode diminuir a variação destes valores ao longo dos anos.

Para o cultivo de milho irrigado por sulcos podem ser observados bons resultados de EUA, como no experimento realizado por (Dagdelen *et al.*, 2006), na Turquia, onde ocorreu variação de dose irrigada nos sistemas de sulcos. Neste trabalho foram avaliadas a eficiência do uso da água (considerando o volume evapotranspirado no período) e a eficiência do uso da água irrigada (considerando apenas o volume irrigado). A melhor eficiência do uso da água foi de 2,3 kg m<sup>-3</sup> com a dose de 70% da evapotranspiração, já considerando apenas o volume irrigado a maior eficiência foi de 3,7 kg m<sup>-3</sup>, para a dose de 30% da evapotranspiração.

Em experimento que avaliou a EUA em um solo arenoso, na Líbia, com dois métodos de irrigação (gotejamento e aspersão) e variação de dose aplicada para o cultivo de milho, apresentou de modo geral as maiores EUA nos tratamentos irrigados pelo método de gotejamento, apresentando EUA superiores independente da dose de água aplicada (Abd El-Wahed *et al.*, 2013). A maior EUA do gotejamento em relação à aspersão pode ser explicada pois este método apresenta menores perdas por evaporação na superfície do solo, reduzindo o risco de escoamento superficial, enquanto irrigação por aspersão pode ser afetada pelo vento por exemplo. Neste trabalho para o cálculo da EUA foi utilizado apenas o volume de água aplicado pela irrigação.

A eficiência do uso da água pode variar a partir do tipo de solo, do manejo de irrigação aplicado, da dose irrigada entre outros fatores e do ciclo de híbrido utilizado. Sabe-se que o milho apresenta necessidade de grande volume de água, porém possui elevada EUA, como observado nos trabalhos anteriores variando de 1,7 a 5,7 kg m<sup>-3</sup> considerando apenas o volume aplicado na irrigação, somando o volume precipitado para o cálculo da EUA o maior valor apresentado foi de 3,7 kg m<sup>-3</sup>.

A cultura do arroz irrigado, que também possui uma demanda elevada de água aplicada, apresenta EUA de 1,3 a 1,6 kg m<sup>-3</sup> (Scivittaro *et al.*, 2008), 0,63 a 0,87 kg m<sup>-3</sup> (Murliki *et al.*, 2009), 1,5 a 1,7 kg m<sup>-3</sup> (Petry *et al.*, 2011) e 0,7 a 1,3 kg m<sup>-3</sup> (Marcolin *et al.*,

2011). Comparando com a cultura do milho, que também demanda elevado volume de água para o desenvolvimento, é possível observar que o arroz não é tão eficiente quanto milho no que se refere ao uso da água. Considerando a soma do volume precipitado com o volume aplicado na irrigação foi possível observar uma maior EUA do milho em relação ao arroz, obtendo  $2 \text{ kg m}^{-3}$  utilizado. Os trabalhos consideraram a água aplicada na irrigação mais o volume precipitado no período de desenvolvimento da cultura.

## 5.5 Análise de viabilidade econômica

Apesar de haver muitos estudos no Brasil que mostram vantagens técnicas de algumas práticas agrícolas, existe uma escassez de trabalhos científicos que comprovem a viabilidade econômica.

Mariot *et al.* (2009), para avaliar a viabilidade financeira utilizaram a margem de contribuição parcial descrita por (Iudícibus e Marion, 1990), que se refere à diferença entre a receita líquida e os custos de produção selecionados. A margem de contribuição parcial pode ser classificada como a parcela da receita destinada a quitação dos demais custos e das despesas fixas à formação do lucro líquido do exercício (Iudícibus e Marion, 1990).

Outra maneira de se avaliar a viabilidade econômica é através da relação benefício custo (B/C), que permite se obter subsídios relevantes quanto a viabilidade de projetos como o de irrigação. Este indicador é calculado para verificar se os benefícios são maiores que os custos, ao longo de um período. Existem várias maneiras de representar esta razão, uma delas é representada pela seguinte equação (Noronha, 1987). Quando a relação B/C resulta em um valor acima de 1 representa que o projeto é economicamente viável, já que os valores obtidos nas entradas são superiores aos valores obtidos nas saídas de caixa. Este método é muito utilizado para analisar a viabilidade financeira da implantação de pivô central (Faccioni, 2006; Schirmer e Mattuella, 1992).

Os trabalhos publicados com o objetivo de analisar a viabilidade financeira do milho (Sangoi *et al.*, 2006; Forsthofer *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2008) se baseiam na metodologia descrita por Minetto (2005). Utilizando a margem bruta para avaliar o retorno econômico, que é a diferença entre a receita líquida obtida e os custos operacionais. Em todos estes trabalhos não foi considerado nos dispêndios as remunerações pela terra, construções e instalações, e os juros sobre o desembolso.

Forsthofer *et al.* (2006) demonstraram que com o aumento do uso das práticas de manejo estão ligadas as maiores produtividades. As práticas de manejo que variaram foram as seguintes: época de semeadura, uso de cobertura de inverno, uso de variedade ou híbrido, nível de adubação de base e cobertura, micronutrientes, irrigação suplementar, densidade de plantas e espaçamento entre linhas. Apesar de apresentar um custo elevado, a receita obtida também é maior quando se eleva o nível de tecnologia aplicado, gerando assim uma maior rentabilidade.

Sangoi *et al.* (2006) também demonstraram que com o aumento do uso das práticas de manejo estão ligadas as maiores produtividades. As práticas de manejo que variaram foram as seguintes: o uso de cultivar ou híbrido, a densidade de plantas, o espaçamento entre linhas a adubação de base e de cobertura. A adoção de maior investimentos em insumos e tecnologia na lavoura foram aspectos fundamentais para o acréscimo do rendimento de grãos, logo, melhoria do retorno econômico na cultura do milho.

## 6 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido a campo nos anos agrícola de 2013/14 e 2014/15, na Estação Experimental do Arroz (EEA/IRGA) no município de Cachoeirinha-RS. A Estação situa-se na região ecoclimática da Depressão Central do Rio Grande do Sul, a 29°55'30" de latitude sul e a 50°58'21" de longitude oeste e à altitude de 7 m. O solo da área experimental é classificado como Gleissolo Háptico Distrófico Típico (Streck *et al.*, 2008).

O clima da região é do tipo subtropical úmido, conforme classificação de Köeppen, sendo considerado como transição entre os tipos Cfa1 (isoterma anual inferior a 18°C) e Cfa2 (isoterma anual superior a 18°C). A temperatura média do ar é de 14,3°C no mês mais frio (julho) e de 25,2°C no mês mais quente (janeiro), sendo a média anual de 19,6°C. A precipitação pluvial média anual é de 1438 mm, em uma série de dados de 27 anos 1988 a 2015 (INMET, 2015).

### 6.2 Material

O quadro onde se situou o experimento, foi nivelado com uma declividade de 0,08%, ou seja, oito centímetros a cada cem metros, ao longo do comprimento de cada parcela em todos os tratamentos (Figura 1). O comprimento total da parcela foi de 80 metros.

Quatro tratamentos foram realizados conforme citado abaixo e ilustrado nas figuras 2 e 3.

- T1** – 15 cm de altura de microcamalhão com irrigação;
- T2** – 15 cm de altura de microcamalhão sem irrigação;
- T3** – Sem microcamalhão com irrigação;
- T4** – Sem microcamalhão sem irrigação.

Na figura 2 é ressaltada a altura do microcamalhão de 15 cm (T1 e T2) logo após sua construção. Na figura 3 é ilustrado os tratamentos sem microcamalhão (T3 e T4), com o milho durante o período vegetativo (cerca de 40 dias após o plantio).

Figura 1. Croqui da área experimental.

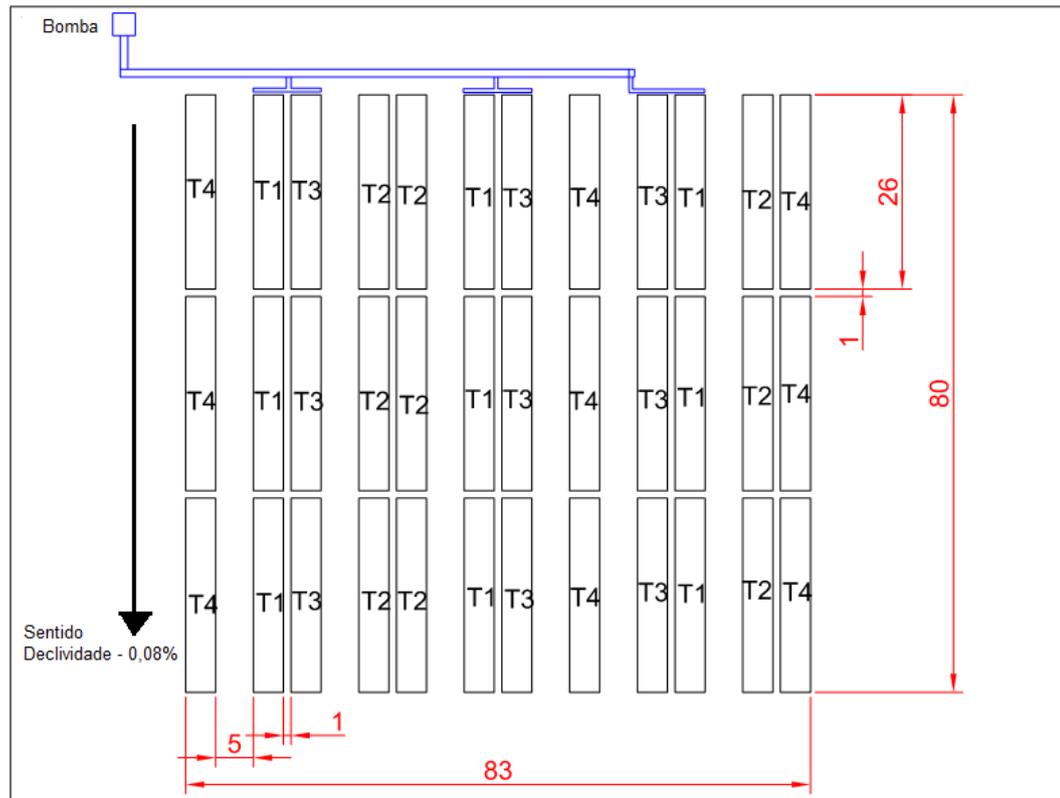


Figura 2. Perfil transversal dos tratamentos com microcamalhões, 15 centímetros de altura.



Figura 3. Tratamentos sem microcamalhões.



No ano agrícola 2013/2014, fez-se a semeadura do híbrido simples e precoce de milho Dekalb 250 PRO2, da empresa Dekalb Sementes, em 01 de novembro de 2013. A análise química do solo apresentou os seguintes resultados: 9,45 mg dm<sup>-3</sup> de P, 33,75 mg dm<sup>-3</sup> de K, 1,17% de M0. e 5,85 de pH. Foi aplicado como adubação de base 500 kg<sup>-1</sup> do adubo químico NPK da fórmula 04-17-27. Na adubação de cobertura, foi aplicado de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, de forma parcelada. Foram aplicadas as doses de 60, 120, 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente nos estádios V<sub>3</sub>, V<sub>8</sub> e V<sub>12</sub> na escala Ritchie *et al.* (1993). Como fonte de adubo nitrogenado foi utilizada a ureia com inibidor da enzima urease. A densidade de plantas utilizada foi de 8,0 pl m<sup>-2</sup>. A colheita foi realizada no dia 24 de março de 2014.

No segundo ano (2014/2015), fez-se a semeadura de nabo forrageiro em 20 de abril de 2014, como cobertura de solo no outono-inverno. Como adubo de base foi aplicado 25 kg ha<sup>-1</sup> de N e 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Utilizou-se o mesmo híbrido do ano anterior, com semeadura realizada em 28 de outubro de 2014. A análise química do solo apresentou os seguintes resultados: 21 mg dm<sup>-3</sup> de P, 30 mg dm<sup>-3</sup> de K, 1,2% de M0. e 5,1 de pH. Foi aplicado como adubação de base 400 kg<sup>-1</sup> do adubo químico NPK da formula 04-17-27. A adubação de cobertura foi realizada com as mesmas doses e mesmas épocas de aplicação do

ano anterior. A densidade de plantas utilizada foi de  $9,0 \text{ pl m}^{-2}$ . A colheita foi realizada no dia 06 de maio de 2015.

O sistema de irrigação foi composto por um conjunto moto-bomba de 7 cv e tubulação de irrigação (linha irriga, de 20 a 75 mm de diâmetro). Um hidrômetro (vazão nominal de  $60 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ , vazão mínima  $1,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ , diâmetro de 100 mm) foi acoplado logo na saída da bomba, para medir o volume de água utilizado. A água foi retirada de um canal a montante do experimento a cerca de 5 metros do início dos sulcos. A irrigação foi feita por repetição, ou seja, enquanto se irrigava uma as outras repetições estavam com o registro fechado. Em cada parcela foram colocadas três entradas de água (Figura 4 e 5).

Figura 4. Detalhe da localização da bomba, hidrômetro, canal de captação de água e da entrada de água nas parcelas.

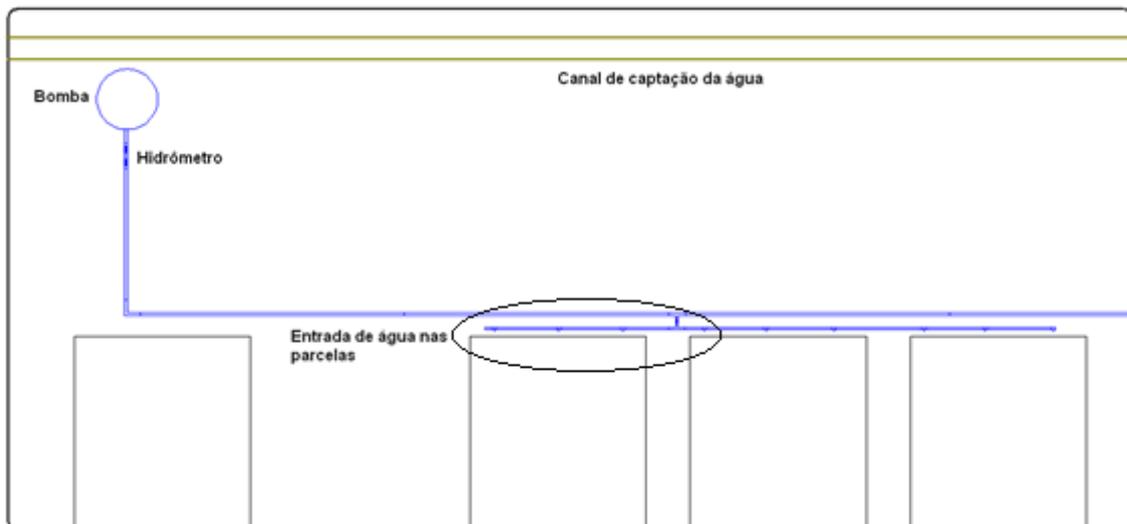
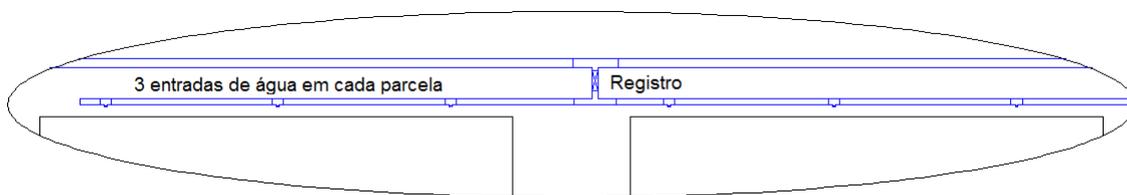


Figura 5. Localização do registro e das entradas de água em cada parcela.



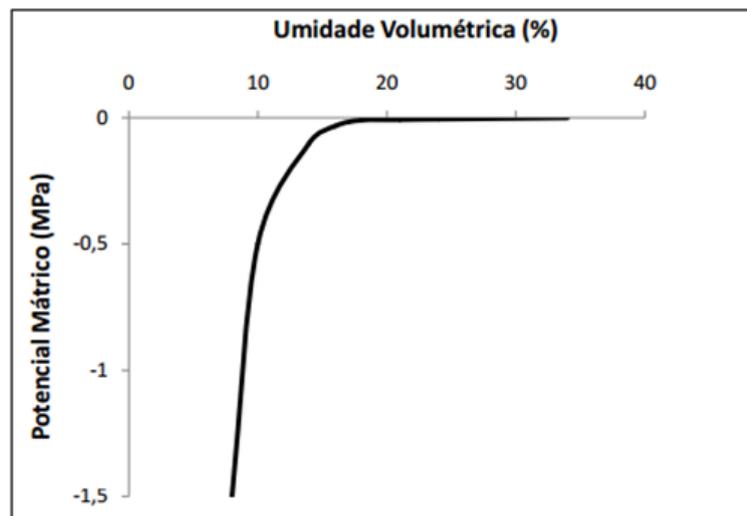
A umidade do solo foi monitorada pela leitura de um sensor Hidro Farm, da Falker, que realiza a medição da umidade volumétrica do solo através da tecnologia ISAF (impedância do solo em alta frequência), (Gomes *et al.*, 2013; Borin *et al.*, 2013). O equipamento informa diretamente o valor da umidade volumétrica do solo em porcentagem.

A reposição de água foi feita assim que o aparelho registrava a umidade volumétrica de 20%, umidade esta que é 2% maior que o correspondente ao limite hídrico

inferior da cultura do milho (0,05 Mpa) Vittum *et al.* (1963), que para esse solo é de 18%, para evitar estresse por deficiência hídrica nos tratamentos com irrigação. Para quantificar o volume de água irrigada utilizada, para calcular a EUA, foi usado um hidrômetro. Esse mesmo hidrômetro foi utilizado para o controle das aplicações de irrigação. Em cada irrigação utilizou-se uma lâmina de água de 30 mm que foi calculada para que o solo sempre ficasse entre a umidade volumétrica correspondente ao limite hídrico inferior da cultura (0,05 Mpa - 18%, Figura 6) e a capacidade de campo (0,006 Mpa - 30%, Figura 5), Macedo *et al.* (2002).

Neste experimento, optou-se pelo seguinte critério: se durante o dia o equipamento de medição de umidade registrasse uma umidade de 20%, imediatamente era realizada uma irrigação, não esperando que o solo atingisse o limite hídrico inferior do milho, pois este valor poderia ser atingido no meio da noite e não seria possível irrigar neste momento.

Figura 6. Curva de retenção de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico da camada superficial (0-0,2m) coletado em áreas cultivadas com arroz irrigado no município de Pelotas/RS (Silva, 2009).



Para a reposição de água foi usada uma dose bruta de 30 mm, calculada a partir das equações (2) e (3).

$$DL = (\theta_{cc} - \theta_{lhic}) * z \quad (2)$$

Onde DL (mm) é a dose líquida, ou seja a lâmina máxima que será armazenada dentro do solo, ( $\theta_{cc}$ ) é umidade volumétrica correspondente à capacidade de campo, o ( $\theta_{lhic}$ ) é a umidade volumétrica correspondente ao limite hídrico inferior da cultura, e (z) é a

profundidade das raízes da cultura (mm), que neste caso será utilizado 200 mm de profundidade. A Equação 3 dose bruta dose bruta foi calculada pela equação 3.

$$DB = \frac{DL}{ESI} \quad (3)$$

Onde, DB (mm) é a dose bruta, ou seja a lâmina que deve ser aplicada ao solo, contando com as perdas inerentes ao sistema de irrigação, “DL” (mm) foi calculada pela equação 2, “ESI” é a eficiência do sistema de irrigação, que para sulcos é sugerido de 0,60 a 0,75 (Salassier, 1989). Neste trabalho, foi utilizada uma eficiência do sistema de irrigação maior, de 0,80 pelo fato de estarmos trabalhando com sulcos muito curtos (79 metros) e com solo de condutividade hidráulica saturada baixa. Por isso, espera-se que as perdas por percolação no início do sulco sejam pequenas e conseqüentemente a eficiência do sistema de irrigação será maior que a usualmente utilizada no sistema de sulcos.

A frequência de irrigação, ou o turno de irrigação, variou conforme as necessidades da planta e pelas as características meteorológicas. O momento das irrigações foi estabelecido quando a leitura da umidade volumétrica do solo atingia valor de 20%. Para um controle das chuvas, foram usados dados de chuva ocorridos na estação, medidos por pluviômetros instalados dentro da área experimental.

Como a área a ser irrigada era conhecida, cada repetição que era irrigada possuía área de 948 m<sup>2</sup>, e a lâmina de reposição era de 30 mm (0,03 m), multiplicando-se a área pela altura da lâmina aplicada obteve-se o valor de 28,44 m<sup>3</sup>. Este valor era controlado pela leitura do hidrômetro no início e no final de cada irrigação. Desta forma, sabiam-se exatamente quando havia sido aplicado os 30 mm de lâmina, previamente calculados, ou seja, o tempo exato de irrigação.

A vazão que foi utilizada nos sulcos foi um valor entre a vazão reduzida e a vazão máxima não erosiva. A vazão reduzida é aquela que infiltra toda ao longo do sulco, sem haver escoamento no final do sulco. Ela foi calculada a partir dos ensaios da curva de infiltração de água no solo e a curva de avanço da água no sulco, que foram realizados no dia 8 de maio de 2013. A vazão reduzida calculada foi de 1,15 L s<sup>-1</sup>. A vazão máxima não erosiva foi calculada pela Equação 4 de Gardner (Gardner, apud Salassier, 1989).

$$Q = \frac{C}{i^a} \quad (4)$$

Onde Q é a vazão máxima não erosiva em L s<sup>-1</sup>, "C" e "a" são parâmetros que variam conforme a textura do solo (Tabela 3) e "i" é a declividade do sulco (%). O solo do experimento é de textura média e a declividade do sulco de 0,08%, resultando numa vazão máxima não erosiva de 3,9 L s<sup>-1</sup>. Portanto, a vazão utilizada no experimento deveria ser entre estes dois valores. Por termos sulcos muito curtos, optou-se em adotar um valor um pouco superior ao valor da vazão reduzida para a irrigação (Q irrigação = 1,5 L s<sup>-1</sup>).

Tabela 3. Valores de coeficientes "C" e "a" para diferentes tipos de solos (Hamad, apud Salassier, 1989) para serem aplicados na equação de Gardner.

Textura	C	A
Muito fina	0,892	0,937
Fina	0,988	0,550
Média	0,613	0,733
Grossa	0,644	0,704
Muito grossa	0,665	0,548

## 6.3 Métodos

### 6.3.1. Parâmetros do balanço climático

Os parâmetros utilizados no balanço climático foram a precipitação, a umidade volumétrica do solo e a evapotranspiração.

A precipitação e a umidade volumétrica do solo foram obtidas através de leituras diárias, sendo que no caso da precipitação, as leituras foram realizadas com o auxílio de pluviômetros instalados no experimento. Já para a umidade volumétrica do solo, as leituras foram realizadas através dos sensores de umidade do solo Hidro farm também instalados nas parcelas experimentais.

A evapotranspiração foi calculada através do software Sistema para Manejo da Agricultura Irrigada (SMAI) desenvolvido pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). O software simplifica o cálculo da Evapotranspiração de Referência diária pelo método Penman-Monteith FAO, Mariano *et al.* (2011).

$$ET_o = \frac{(0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \cdot 900 / (T_a + 273) u_2 (e_s - e_a))}{(\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2))} \quad (5)$$

Onde,

$E_{To}$  – Evapotranspiração de referência,  $\text{mm d}^{-1}$ ;

$\Delta$  - gradiente da curva de pressão de vapor vs temperatura,  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$R_n$  – Radiação solar líquida disponível,  $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ;

$G$  – Fluxo de calor no solo,  $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ;

$\gamma$  – Constante psicrométrica,  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$u_2$  – Velocidade do vento a 2 m,  $\text{m s}^{-1}$ ;

$e_s$  – Pressão de saturação de vapor de água atmosférico,  $\text{kPa}$ ;

$e_a$  – Pressão atual de vapor de água atmosférico,  $\text{kPa}$ ;

$T_a$  – Temperatura média diária,  $^\circ\text{C}$ .

O coeficiente da cultura ( $K_c$ ) utilizado foi o publicado por Bergamaschi *et al.* (1992), (Tabela 4). Com o  $K_c$  e a Evapotranspiração de Referência calculada pelo software, a Evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ), foi calculada através da equação 6.

$$E_{Tc} = E_{To} K_c \quad (6)$$

Tabela 4. Coeficiente da cultura ( $K_c$ ) do milho conforme Bergamaschi et al. (1992).

Subperíodo	$K_c$
Semeadura - Emergência Duração média: 6 dias	0,50
Emergência - 30 dias após a emergência Duração média: 30 dias	0,70
30 dias após a emergência - Pendoamento Duração media: 31 dias	1,10
Pendoamento - Maturação leitosa Duração media: 17 dias	1,25
Maturação leitosa - Maturação fisiológica Duração media: 38 dias	1,00

### 6.3.2. Análise Agronômica

Para realizar as avaliações agronômicas, cada tratamento foi dividido em três subparcelas ao longo de seu comprimento total, sendo o início o local da entrada d'água (0 a 26m, 27 a 53 m e 54 a 79m).

Em todos os tratamentos foram avaliados o rendimento de grãos e os componentes do rendimento. O rendimento de grãos, foi avaliado em uma área útil de  $10 \text{ m}^2$  e expresso na unidade de  $13 \text{ g kg}^{-1}$ .

O número de espigas por metro quadrado foi determinado pela razão entre o número de espigas colhidas na unidade experimental pelo valor da sua área útil.

O peso do grão foi obtido pela contagem manual de 200 grãos de cada unidade experimental, com posterior pesagem e correção de umidade para  $130 \text{ g kg}^{-1}$ , e dividindo-se a massa obtida por 200.

O número de grãos por espiga foi calculado, indiretamente, da seguinte forma: obtém-se inicialmente o número de grãos das plantas da área útil pela razão entre o peso de grãos da área útil e o peso do grão, após, divide-se este valor pela área útil, obtendo-se o número de grãos por metro quadrado.

O número de grãos por espiga foi obtido pela razão entre o número de grãos por metro quadrado e o número de espigas por metro quadrado.

O cálculo da eficiência de uso da água (EUA), que foi realizado a partir da razão entre a produtividade de grãos obtida ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e o volume de água ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) consumido. Nos tratamentos irrigados o volume consumido foi resultado da soma do volume de água irrigado com precipitações pluviais durante o desenvolvimento da cultura, enquanto nos tratamentos não irrigados se levou em conta apenas o volume precipitado durante o desenvolvimento da cultura. A EUA é expressa em quilograma de grãos de milho por metro cúbico utilizado de água.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, dispostos em fatorial,  $2 \times 2 \times 3$  (com e sem irrigação, com e sem microcamalhão, 3 distâncias da tomada de água). O dispositivo experimental consistiu em 12 parcelas de 4 metros de largura por 79 de comprimento, sendo três parcelas para cada um dos quatro tratamentos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ANOVA (Anexos 1 e 2). Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

### **6.3.3. Análise Econômica**

A análise econômica foi baseada no método desenvolvido pela FECOAGRO/RS de determinação do custo de produção das culturas Minetto (2005). Esta metodologia foi utilizada por Silva *et al.* (2008), Sangoi *et al.* (2006) e Forsthofer *et al.* (2006), também para avaliar o desempenho econômico do milho. Neste método é calculada a margem bruta que quantifica a diferença entre receita bruta obtida e dispêndio efetuado em cada manejo de

irrigação e drenagem, uma vez que no total do dispêndio não foram ponderadas remunerações à terra, às instalações e às construções, nem juros sobre o desembolso.

Os custos de insumos como: máquina para plantio direto, colheita, transporte de produção, semente (milho e nabo forrageiro), adubo (base e cobertura), pulverização, herbicidas (Primatop 4L + Glifosato 6L) e transportes de insumos foram obtidos com a COTRIJAL – Cooperativa Agropecuária e Industrial de Não-Me-Toque, RS. Os custos de gradagem pré-nivelamento, manejo pré-semeadura (nivelamento) e irrigação (diesel) foram considerados o custo de produção do arroz (IRGA) – ano agrícola 2013/2014. E o custo da semeadura com a microcamalhoneira foi obtido com a Industrial KF, fornecedora da microcamalhoneira.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados. O dispositivo experimental consistiu em 12 parcelas de 4 metros de largura por 79 de comprimento, sendo três parcelas para cada um dos quatro tratamentos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ANOVA (Anexo 3 e 4). Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Balanço climático e avaliação da drenagem

No ano agrícola 2013/2014, foram realizadas dez irrigações totalizando 300 mm irrigados, sendo que a precipitação ao longo do desenvolvimento do milho foi de 480 mm, perfazendo um valor total de 780 mm nos tratamentos irrigados. A evapotranspiração potencial do milho se manteve entre 0,48 e 8,34 mm dia<sup>-1</sup>, totalizando 535 mm (Figura 7).

Pode-se notar um período de 20 dias de estiagem entre meados de dezembro ao início de janeiro (Figura 8), havendo a necessidade da aplicação de cinco irrigações neste período. Segundo o INMET, em Porto Alegre, os meses de dezembro e janeiro apresentam precipitação média de 106 mm para ambos os meses, com base em uma série histórica de 40 anos (período 1975 e 2015). Porém, nesse ano durante o mês de dezembro a precipitação total foi de 48 mm e no mês de janeiro 75 mm. Esse período mais seco ocorreu exatamente no período crítico da cultura, o espigamento (Bergamaschi *et al.*, 2006). O espigamento do milho ocorreu no dia 16/1/2014, justificando a elevada queda do rendimento de grãos nos tratamentos não irrigados como será discutido mais adiante (Tabelas 5 a 8). A umidade volumétrica do solo manteve-se entre o limite hídrico inferior da cultura (18%) e a capacidade de campo (30%), exceto no dia 18 de novembro que foi de 33,5% decorrente da precipitação de 124 mm ocorrida em 11 de novembro de 2013.

Figura 7. Precipitações, irrigações e evapotranspiração potencial da cultura do milho (mm) e teor de umidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), durante o ano agrícola 2013/2014.

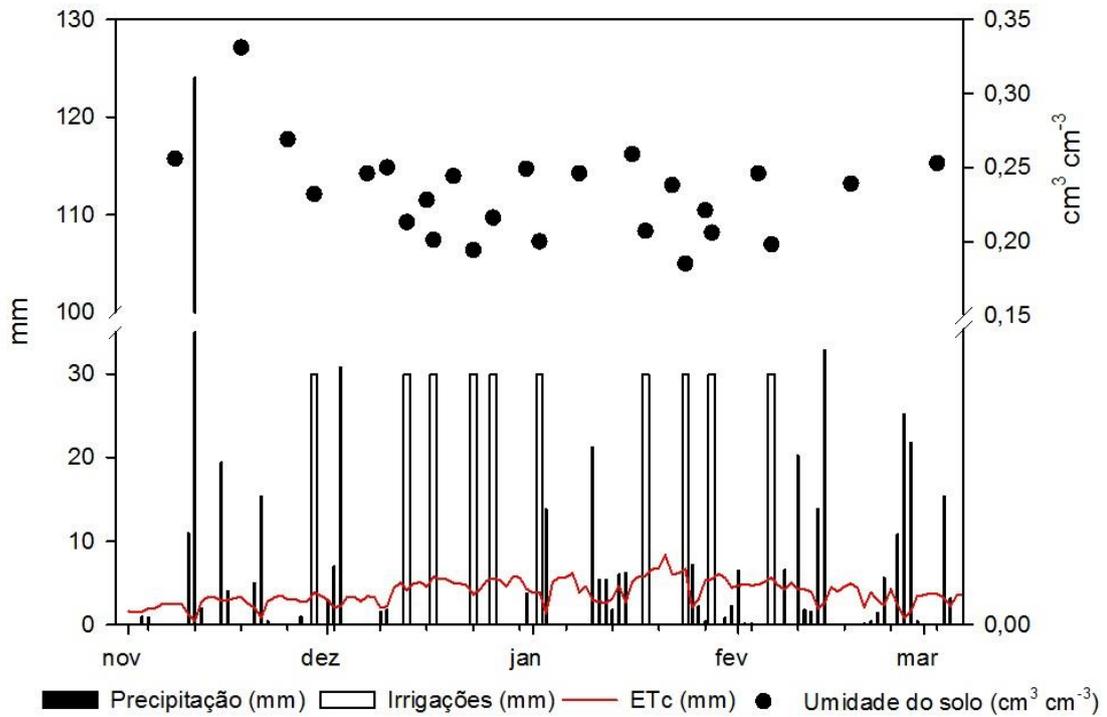


Figura 8. Milho apresentando sinais de estresse por deficiência hídrica, ano agrícola 2013/2014.



O segundo ano (2014/2015) caracterizou-se como atípico para o RS, onde se registrou 620 mm bem distribuídos durante o ciclo da cultura, sendo necessárias apenas três irrigações de 30 mm cada, totalizando 90 mm irrigados, perfazendo um valor total de 710 mm. A evapotranspiração potencial do milho se manteve entre 0,63 a 7,58 mm dia<sup>-1</sup>, totalizando 536 mm (Figura 9). Houve a ocorrência de precipitações logo após todas as irrigações efetuadas neste ano. Porém não foi observado problemas de excesso hídrico.

O maior período de estiagem ocorrido foi de 10 dias, no início do mês de fevereiro, correspondendo o estágio R4, estágio onde os grãos já acumularam cerca da metade do peso que eles atingiriam na maturidade. Nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro a precipitação foi acima da média segundo o INMET, de Porto Alegre, com base em uma série histórica de 40 anos (período 1975 a 2015). Nesses meses as precipitações registradas foram de 125, 183 e 141 mm respectivamente, enquanto a média para esses meses é de 106, 106 e 102 milímetros. Além de ter ocorrido com valores acima da média, as precipitações ocorreram de maneira muito bem distribuída, resultando em não diferenciação do rendimento de grãos entre os tratamentos irrigados e não irrigados, como será visto mais adiante (Tabelas 5 a 8). A umidade volumétrica do solo se manteve entre 18 e 30%, conforme planejado.

Figura 9. Precipitações, irrigações e evapotranspiração potencial da cultura do milho (milímetros) e teor de umidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), durante o ano agrícola 2014/2015.

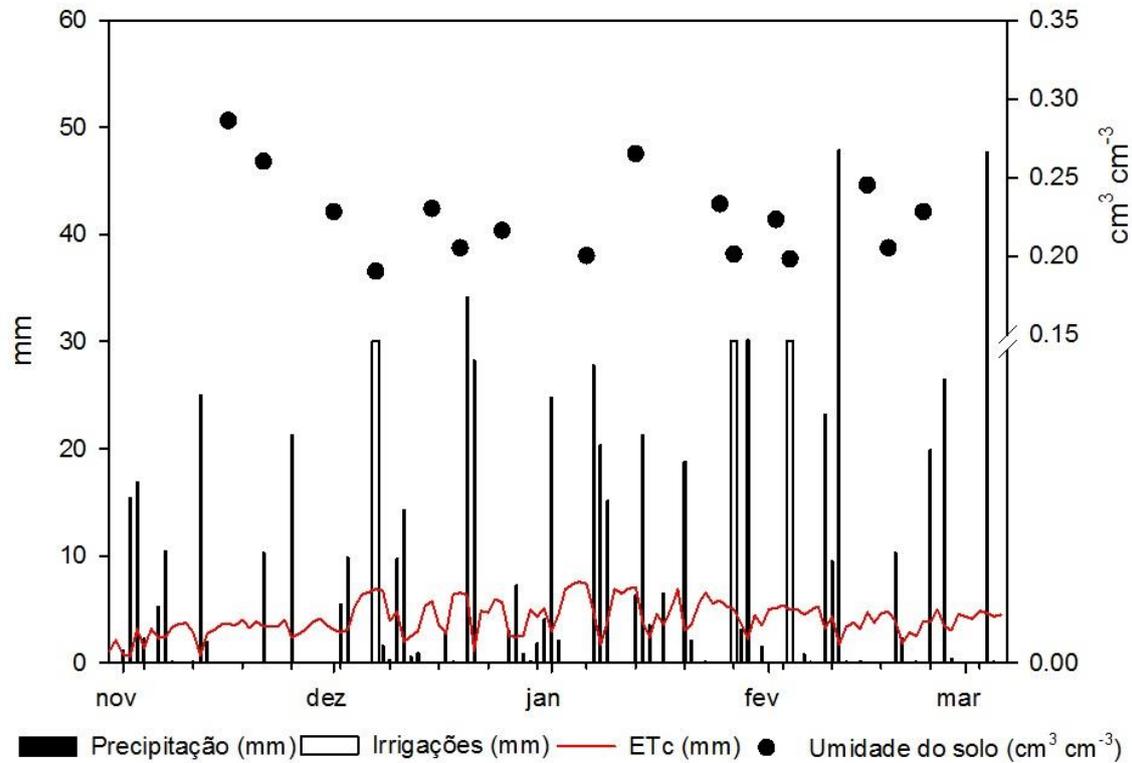


Figura 10. Drenagem eficiente independente do tratamento proposto, após precipitações elevadas durante um período de três dias. Ano agrícola 2014/2015.



Quanto às estratégias de drenagem observou-se que tanto a sistematização do terreno em declividade com o uso do microcamalhão (T1 e T2), como apenas a sistematização do terreno em declividade (T3 e T4), mostraram-se eficientes nos dois anos. Treze dias após a semeadura do milho, no ano agrícola 2013/2014, ocorreu uma precipitação de 124 mm em 11 de novembro 2013 em menos de 24 horas (ver Figura 7), não apresentando quaisquer prejuízos por excesso hídrico durante esse ano, independentemente da estratégia de drenagem adotada. No segundo ano, observou-se a ocorrência de dois eventos de precipitação superiores a 45 mm em menos de 24 horas, nos dias 11 de fevereiro e 4 de março de 2015 (ver Figura 9). Além disso, notou-se em seis oportunidades precipitações ocorridas em dias consecutivos gerando precipitações acumuladas de mais de 80 mm em três dias. Em todos os tratamentos esses períodos de precipitações consecutivos não apresentaram problemas quanto à drenagem, evidenciando que ambas alternativas apresentaram condições de drenagem suficiente para que se viabilize tecnicamente o cultivo do milho nesse tipo de solo em áreas de arroz irrigado no RS. Na Figura 10 é apresentado o experimento após uma precipitação de 63 mm em três dias consecutivos. Observa-se que dentro das parcelas o solo encontra-se seco evidenciando que não houve problemas de drenagem. A água que se encontra na figura se localiza entre as parcelas dos tratamentos, com microcamalhão, a esquerda e sem, a direita.

Foi observada que a vazão de irrigação utilizada ( $1,5 \text{ L s}^{-1}$ ), mostrou-se adequada, não ocorrendo erosão nos sulcos nem escoamento superficial no final dos mesmos. Os sensores de umidade funcionaram bem, evidenciando-se adequados para o monitoramento da umidade do solo, como ferramenta para a tomada de decisão de qual o momento deveria ocorrer a irrigação.

## **7.2 Avaliações agronômicas**

Os efeitos das estratégias de irrigação sobre os componentes do rendimento de grãos e a EUA, são apresentados nas Tabelas 5 a 8. Foi calculada a média das três repetições dos resultados de componentes do rendimento de grãos e de EUA, para os quatro tratamentos, sendo relacionados entre si pela análise dos fatores. Primeiramente foram relacionados dois fatores: a) irrigação e microcamalhão, b) irrigação e distância da entrada de água, c) microcamalhão e distância da entrada de água. Após essas análises os resultados foram relacionados considerando os três fatores juntos, d) irrigação, microcamalhão e distância em relação da entrada de água da irrigação.

### 7.2.1 Análise dos fatores irrigação e microcamalhão

Na tabela 5 são apresentados os resultados do rendimento de grãos, componentes do rendimento e da EUA obtidos nos dois anos agrícolas. Os componentes dos rendimentos de grãos e da EUA médios foram obtidos nas três repetições para os quatro tratamentos para os dois anos estudados. Apenas as avaliações de rendimentos de grãos e EUA apresentaram diferença significativa com nível de significância de 5% no primeiro ano (2013/2014).

No primeiro ano houve interação entre os tratamentos com e sem irrigação e presença ou ausência de microcamalhão apenas para as características rendimento de grão e EUA. Foi obtido 10,25 Mg ha<sup>-1</sup> de rendimento de grãos com a utilização de irrigação e microcamalhão de forma simultânea, (Tabela 5). Quando retirado o uso de microcamalhão e mantida a irrigação, o rendimento apresenta uma queda de 1,5 Mg ha<sup>-1</sup>, pois a condução da água sem o microcamalhão acontece com maior dificuldade, devido ao fato da água se espalhar na parcela e não conseguir chegar ao final desta, mesmo com a declividade utilizada (0,08%). Já, no tratamento, com microcamalhão, a água é conduzida pelo sulco do microcamalhão até o final. Sem o uso da irrigação, as produtividades apresentaram quedas de 5,71 Mg ha<sup>-1</sup> com a utilização de microcamalhão e de 3,21 Mg ha<sup>-1</sup> sem a utilização de microcamalhão. Esses resultados são muito próximos aos obtidos por Silva *et al.* (2007), em outra área experimental da EMBRAPA, Pelotas, RS, alcançando 10,2 Mg ha<sup>-1</sup> com o uso de microcamalhão e irrigação por sulcos, associado à sistematização em declividade de 0,08% e de 9,4 Mg ha<sup>-1</sup> com o uso de irrigação por banhos (sem microcamalhão) e mantendo a sistematização em declividade. Já, quando não irrigado a produtividade obtida por esses autores caiu para 3,2 Mg ha<sup>-1</sup>.

Quanto a EUA, o tratamento mais eficiente foi com a utilização de irrigação e microcamalhão, com 1,31 kg m<sup>-3</sup> (Tabela 5), enquanto o menos eficiente foi também com a utilização da irrigação, porém sem o uso de microcamalhão com 0,94 kg m<sup>-3</sup>. Essa menor EUA foi devido à queda de rendimentos de grãos, uma vez que em ambos os tratamentos foi utilizado o mesmo volume de água. Esses valores foram bem menores que os relatados por Kang *et al.* (2000), em experimento conduzido, na China, para cultura do milho irrigado por sulcos, que obtiveram 5,75 kg m<sup>-3</sup> considerando apenas a água proveniente da irrigação. No presente experimento, se não for considerada a precipitação pluvial para o cálculo da EUA, o valor de EUA seria de 3,42 kg m<sup>-3</sup>, ainda assim menores que os obtidos por estes autores. Nos tratamentos não irrigados, a presença ou ausência de microcamalhão não influenciou a EUA (Tabela 5). A EUA foi 39% maior no tratamento com irrigação e microcamalhão em relação ao tratamento não irrigado com microcamalhão.

Os componentes do rendimento número de espigas, número de grãos por espiga e peso dos grãos não variaram em função dos fatores irrigação e microcamalhão.

No ano agrícola (2014/2015), todas as características avaliadas, exceto o número de grãos por espigas, não diferenciaram estatisticamente em função dos fatores irrigação e microcamalhão. Isso ocorreu pelo fato de que o volume precipitado foi adequado, em termos de quantidade e distribuição ao longo do ciclo de desenvolvimento do milho, sendo necessário aplicar apenas três irrigações. As três irrigações foram efetuadas quando a leitura do sensor de umidade do solo apontou a umidade volumétrica mínima (20%). Porém, logo após a aplicação das irrigações ocorreram precipitações, fazendo com que as irrigações não fossem tão efetivas quanto no primeiro ano.

Tabela 5. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência de uso da água (EUA) do milho em função dos fatores irrigação e microcamalhão, em dois anos agrícolas, na média de três distâncias em relação à tomada de água. Cachoeirinha-RS.

Avaliação	Irrigação	Microcamalhão					
		Com			Sem		
		Ano agrícola 2013/2014					
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Com	A	10,3	a	B	8,5	a
	Sem	NS	4,5	b		5,3	b
Espigas por m <sup>2</sup> (Nº.)	Com	NS <sup>1</sup>	7,9	ns <sup>2</sup>		7,9	ns
	Sem	NS	6,9			7,0	
Grãos por espiga (Nº.)	Com	NS	485	ns		374	ns
	Sem	NS	264			321	
Peso do grão (mg)	Com	NS	269	ns		285	ns
	Sem	NS	251			237	
EUA (kg m <sup>-3</sup> )	Com	A	1,31	a	B	0,94	ns
	Sem	NS	1,09	b		1,11	
Ano agrícola 2014/2015							
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Com	NS	13,1	ns		12,9	ns
	Sem	NS	12,1			13,2	
Espigas por m <sup>2</sup> (Nº.)	Com	NS	10,5	ns		9,7	ns
	Sem	NS	9,7			9,7	
Grãos por espiga (Nº.)	Com	NS	488	b		535	ns
	Sem	NS	588	a		525	
Peso do grão (mg)	Com	NS	299	ns		306	ns
	Sem	NS	287			293	
EUA (kg m <sup>-3</sup> )	Com	NS	1,85	ns		1,82	ns
	Sem	NS	1,95			2,13	

<sup>1</sup>Não significativo pelo teste de Tukey em relação as linhas (p<0,05); <sup>2</sup>Não significativo pelo teste de Tukey em relação as colunas (p<0,05); \* Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na linha e seguidas por mesma letra minúscula na coluna não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). EUA = Eficiência do Uso da água considerando a água de irrigação e das chuvas.

## 7.2.2 Análise dos fatores irrigação e distância em relação da entrada de água da irrigação

No primeiro ano agrícola (2013/14), o rendimento de grãos e as demais características avaliadas, exceto o peso do grão, não diferiram estatisticamente em função dos fatores irrigação e distância em relação à entrada da água de irrigação. No segundo ano (2014/2015) não houve efeito dos tratamentos em nenhuma das características avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência de uso da água (EUA) do milho em função dos fatores irrigação e distância da entrada de água, em dois anos agrícolas, na média com ou sem do microcamalhão. Cachoeirinha-RS.

Avaliação	Irrigação	Distância						
		Início (0 a 26 m)		Meio (27 a 53 m)		Fim (54 a 80 m)		
Ano agrícola 2014/2015								
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Com	NS <sup>1</sup>	9,6	ns <sup>2</sup>	10,4	ns	8,2	ns
	Sem	NS	5,0		4,6		5,3	
Espigas por m <sup>2</sup> (N <sup>o</sup> .)	Com	NS	7,7	ns	8,6	ns	7,6	ns
	Sem	NS	7,2		7,2		6,4	
Grãos por espiga (N <sup>o</sup> .)	Com	NS	434	ns	443	ns	411	ns
	Sem	NS	287		259		331	
Peso do grão (mg)	Com	A	290	a	AB	277	a	B
	Sem	NS	239	b		246	b	
EUA (kg m <sup>-3</sup> )	Com	NS	1,14	ns	1,06	ns	1,19	ns
	Sem	NS	1,12		1,22		0,97	
Ano agrícola 2014/2015								
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Com	NS	13,0	ns	13,5	ns	12,5	ns
	Sem	NS	12,1		12,8		13,0	
Espigas por m <sup>2</sup> (N <sup>o</sup> .)	Com	NS	10,2	ns	10,1	ns	10,0	ns
	Sem	NS	9,6		9,7		9,8	
Grãos por espiga (N <sup>o</sup> .)	Com	NS	515	ns	512	ns	507	ns
	Sem	NS	567		573		528	
Peso do grão (mg)	Com	NS	294	ns	302	ns	311	ns
	Sem	NS	290		288		293	
EUA (kg m <sup>-3</sup> )	Com	NS	1,83	ns	1,91	ns	1,76	ns
	Sem	NS	1,95		2,07		2,1	

<sup>1</sup>Não significativo pelo teste de Tukey em relação as linhas (p<0,05); <sup>2</sup>Não significativo pelo teste de Tukey em relação as colunas (p<0,05); \* Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na linha e seguidas por mesma letra minúscula na coluna não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). EUA = Eficiência do Uso da água considerando a água de irrigação e das chuvas.

### 7.2.3 Análise dos fatores microcamalhão e distância em relação da entrada de água da irrigação

No primeiro ano de realização do experimento, houve interação significativa entre esses dois fatores para rendimento de grãos (Tabela 7). Com o uso de microcamalhão, o rendimento de grãos não variou em função da distância. No entanto, sem o uso do microcamalhão, o rendimento de grãos diminuiu à medida que aumentou a distância em relação à entrada da água de irrigação. O decréscimo verificado foi de 29 % em relação aos rendimentos obtidos no início e ao meio. Esta queda do rendimento de grãos ocorreu, pois o número de grãos por espiga apresentou variação em relação ao uso do microcamalhão na distância superior a 53 metros.

Esses resultados mostram que, nas condições do experimento, a não utilização de microcamalhão pode ser uma boa alternativa desde que aplicado em pequenas distâncias (< 53 m). Já para distâncias maiores (> 53 m), o uso de microcamalhão se mostra mais eficiente.

As demais características avaliadas (número de espigas por metro quadrado, peso do grão e EUA), não variaram em função dos fatores microcamalhão e distância em relação da entrada de água da irrigação.

No segundo ano nenhuma característica avaliada apresentou variação dos tratamentos. Isto ocorreu, pois independente do uso ou não do microcamalhão a drenagem da área foi considerada boa. Ou seja, o uso de declividade (0,08%), associada ou não ao uso do microcamalhão, evidenciou ser uma boa alternativa de drenagem para o cultivo de milho em áreas de arroz irrigado no RS.

Tabela 7. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência do uso da água (EUA) do milho em função dos fatores microcamalhão e distância da entrada de água, em dois anos agrícolas, na média com ou sem irrigação. Cachoeirinha-RS.

Avaliação	Micro-camalhão	Distância							
		Início (0 a 26 m)		Meio (27 a 53 m)		Fim (54 a 80 m)			
		Ano agrícola 2013/2014							
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Com	NS	7,3	ns	7,1	ns	7,9	a	
	Sem	A	7,9		A	7,9	B	5,6	b
Espigas por m <sup>2</sup> (Nº.)	Com	NS <sup>1</sup>	7,7	ns <sup>2</sup>	7,8	ns	6,7	ns	
	Sem	NS	7,2		7,9		7,3		
Grãos por espiga (Nº.)	Com	NS	361	ns	327	ns	435	a	
	Sem	NS	359		375		308	b	
Peso do grão (mg)	Com	NS	256	A	268	ns	256	ns	
	Sem	NS	273	B	255		256		
EUA (kg m <sup>-3</sup> )	Com	NS	1,24	ns	1,33	ns	1,05	ns	
	Sem	NS	1,03		0,95		1,11		
Ano agrícola 2014/2015									

Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Com	NS	12,7	ns	12,9	ns	12,2	ns
	Sem	NS	12,3		13,4		13,4	
Espigas por m <sup>2</sup> (N <sup>o</sup> .)	Com	NS	10,1	ns	10,4	ns	9,7	ns
	Sem	NS	9,7		9,4		10	
Grãos por espiga (N <sup>o</sup> .)	Com	NS	539	ns	532	ns	542	ns
	Sem	NS	543		553		493	
Peso do grão (mg)	Com	NS	290	ns	289	ns	300	ns
	Sem	NS	294		301		304	
EUA (kg m <sup>-3</sup> )	Com	NS	1,91	ns	1,95	ns	1,84	ns
	Sem	NS	1,87		2,03		2,03	

<sup>1</sup>Não significativo pelo teste de Tukey em relação as linhas (p<0,05); <sup>2</sup>Não significativo pelo teste de Tukey em relação as colunas (p<0,05); <sup>3</sup>Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na linha e seguidas por mesma letra minúscula na coluna não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). EUA = Eficiência do Uso da água considerando a água de irrigação e das chuvas.

#### 7.2.4 Análise dos fatores microcamalhão x distância em relação da entrada de água da irrigação x irrigação

Na tabela 8 são apresentados os resultados dos componentes dos rendimentos de grãos e da EUA médios obtidos nas três repetições para os quatro tratamentos para as duas safras. No primeiro ano agrícola a interação tripla dos fatores testados foi significativa para todas as características avaliadas, exceto para o número de espigas por metro quadrado. No segundo ano não houve diferença significativa em todas as avaliações.

Quanto à distância da entrada de água, apenas o tratamento irrigado sem o uso do microcamalhão apresentou variação nos indicadores rendimento de grãos, número de grãos por espiga, peso do grão e EUA. O rendimento de grãos, o número de grãos por espiga e a EUA apresentaram uma queda entre 45 e 50% na distância superior a 53 metros em relação aos dois trechos mais próximos da entrada d'água. Já no peso do grão houve uma queda menor, de 13% e 17% no meio e no fim, respectivamente, em relação ao trecho mais próximo da entrada d'água. Isso pode ser explicado, pois a água não conseguiu ser escoada de maneira eficiente como no tratamento irrigado com o uso do microcamalhão.

Analisando a relação do uso do microcamalhão e da irrigação nas distâncias propostas, quando houve o uso de irrigação, o rendimento de grãos e o número de grãos por espiga se mostraram superiores aos tratamentos não irrigados independente do uso do microcamalhão, nos dois trechos iniciais da entrada d'água. No terço final, o tratamento irrigado sem microcamalhão não apresentou diferença significativa aos tratamentos não irrigados.

Tabela 8. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência do uso da água (EUA) do milho em função dos fatores microcamalhão, distância da entrada de água e irrigação, em dois anos agrícolas, na média das três repetições. Cachoeirinha-RS.

Avaliação	Irrigação	Micro-camalhão	Distância			
			Início (0 a 26 m)	Meio (27 a 53 m)	Fim (54 a 80 m)	
Ano agrícola 2013/2014						
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Com	Com	NS	9,2 a	10,2 A	11,38 a
	Com	Sem	A	10,1 a	A 10,6	A B 4,97
	Sem	Com	NS	5,3 b	3,9 B	4,39 b
	Sem	Sem	NS	4,6 b	5,2 B	6,25 b
Espigas por m <sup>2</sup> (N <sup>o</sup> .)	Com	Com	NS	8,1 ns	8,5 ns	7,3 ns
	Com	Sem	NS	7,3	8,6	7,9
	Sem	Com	NS	7,3	7,2	6,2
	Sem	Sem	NS	7,1	7,3	6,7
Grãos por espiga (N <sup>o</sup> .)	Com	Com	NS*	434 ns	442 a	580 a
	Com	Sem	A	434	A 445	A B 242
	Sem	Com	NS	289	213 b	289 b
	Sem	Sem	NS	285	306 ab	373 b
Peso do grão (mg)	Com	Com	NS	264 b	276 a	268 ns
	Com	Sem	A	316 a	B 278	a B 262
	Sem	Com	NS	249 b	261 ab	245
	Sem	Sem	NS	229 b	232 b	249
EUA (kg m <sup>-3</sup> )	Com	Com	NS	1,18 ns	1,3 ab	1,46 a
	Com	Sem	A	1,29	A 1,36	a B 0,64
	Sem	Com	NS	1,1	0,82 b	0,91 b
	Sem	Sem	NS	0,96	1,08 ab	1,3 a
Ano agrícola 2014/2015						
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Com	Com	NS	13,7 ns	13,7 ns	12,0 ns
	Com	Sem	NS	12,3	13,4	13,0
	Sem	Com	NS	11,8	12,2	12,3
	Sem	Sem	NS	12,4	13,5	13,8
Espigas por m <sup>2</sup> (N <sup>o</sup> .)	Com	Com	NS	10,6 ns	11,0 ns	9,8 ns
	Com	Sem	NS	9,7	9,2	10,2
	Sem	Com	NS	9,6	9,8	9,7
	Sem	Sem	NS	9,7	9,6	9,9
Grãos por espiga (N <sup>o</sup> .)	Com	Com	NS	474 ns	469 ns	521 ns
	Com	Sem	NS	555	556	494
	Sem	Com	NS	604	596	564
	Sem	Sem	NS	530	551	493
Peso do grão (mg)	Com	Com	NS	296 ns	295 ns	306 ns
	Com	Sem	NS	292	309	316
	Sem	Com	NS	284	283	294
	Sem	Sem	NS	295	293	292
EUA (kg m <sup>-3</sup> )	Com	Com	NS	1,92 ns	1,93 ns	1,70 ns
	Com	Sem	NS	1,73	1,88	1,83

Sem	Com	NS	1,90	1,96	1,98
Sem	Sem	NS	2,00	2,17	2,22

<sup>1</sup>Não significativo pelo teste de Tukey em relação as linhas ( $p < 0,05$ ); <sup>2</sup>Não significativo pelo teste de Tukey em relação as colunas ( $p < 0,05$ ); \*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na linha e seguidas por mesma letra minúscula na coluna não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

De forma geral, observou-se maior rendimento de grãos no segundo ano agrícola. Essa melhora ocorreu, pois no primeiro ano o solo estava em pousio, ou seja, sem uma cobertura de inverno e a densidade de plantas usada no milho foi de 8 pl m<sup>-2</sup>. Já em 2014/2015, foi utilizado o nabo forrageiro como cobertura de inverno e a densidade de plantas usada foi de 9 pl m<sup>-2</sup>. Esses dois fatores, cobertura de inverno (Silva *et al.*, 2008) e densidade de plantas (Silva *et al.*, 2010) são muito importantes para o aumento de produtividade, potencializando o rendimento de grãos. Além disso, no primeiro ano agrícola foi feito o nivelamento da área seis meses antes do plantio do milho. A movimentação de terra causou uma desestruturação do solo, afetando-o de maneira negativa tanto física como quimicamente. No segundo ano, não houve esta movimentação de terra e houve melhoria física e química do solo em relação ao primeiro ano. Quanto as parcelas não irrigadas, como o segundo ano agrícola se caracterizou como um ano úmido, elas tiveram maior produtividade (média de 12,67 Mg ha<sup>-1</sup> considerando os três trechos e com ou sem microcamalhão) devido ao maior aporte de água, que não aconteceu nas parcelas sem irrigação no primeiro ano agrícola (média de 4,93 Mg ha<sup>-1</sup>).

### 7.3 Análise Econômica

Os dois anos agrícolas estudados apresentaram características climáticas diferentes. No primeiro ano, ocorreu um período de estiagem de cerca de 30 dias durante os meses de dezembro e janeiro, justamente no período no período mais seco ocorreu exatamente no período crítico da cultura, o espigamento (Bergamaschi *et al.*, 2006). O espigamento do milho ocorreu no dia 16/1/2014. Isso afetou negativamente o rendimento de grãos e os componentes do rendimento nos tratamentos não irrigados, conforme será visto mais adiante. Neste ano foram necessárias 10 irrigações totalizando 300 mm irrigados, enquanto o volume precipitado ao longo do desenvolvimento do milho foi de 480 mm. Totalizando 780 mm entre irrigações e precipitações.

No segundo ano (2014/2015), o maior período de estiagem foi de 10 dias durante o início do mês de fevereiro. Com as precipitações constantes e sem um grande período de estiagem durante o desenvolvimento do milho, os tratamentos irrigados e não irrigados, se equivaleram durante este ano, uma vez que foram necessárias apenas três irrigações durante o

ciclo da cultura, 90 mm irrigados. O volume precipitado durante o desenvolvimento da cultura foi de 620 mm, totalizando um volume de 710 mm, proveniente das irrigações e das precipitações.

O custo dos diferentes manejos de irrigação e drenagem variou quanto ao sistema de plantio (direto e microcamalhão), uso ou não da irrigação e os custos da colheita e do transporte da produção, que irão variar conforme a produtividade, sendo 8% da produtividade para a colheita e 2% para o transporte. No primeiro ano agrícola foram considerados o custo de gradagem pré-nivelamento e do nivelamento do solo (Tabela 9). Já no segundo ano este custo foi desconsiderado, pois não foi realizada mais nenhuma atividade quanto ao nivelamento (Tabela 10). Porém, neste ano foram acrescidos os custos do nabo forrageiro e da adubação utilizada para esta cobertura. Os demais custos do cultivo do milho, como: a semente, os adubos de base e cobertura, aplicações do adubo de cobertura, pulverizações, herbicidas e transportes de insumos foram iguais para os diferentes manejos.

O preço do saco de 60 kg de milho foi obtido através da média dos valores dos últimos 10 anos, AGROLINK. Este valor foi corrigido para o valor presente, através do Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP/DI), medido pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Que registra a inflação de preços desde matérias-primas agrícolas e industriais até bens e serviços finais, ou seja, correção dos valores obtidos nos anos anteriores conforme a inflação no período. O preço médio corrigido através deste índice foi de R\$ 26,62.

Tabela 9. Custos fixos e variáveis para os diferentes manejos de irrigação e drenagem, ano agrícola 2013/2014.

<b>CUSTO</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>R\$ ha<sup>-1</sup></b>				
<b>Custos Variáveis nos Tratamentos</b>				
Plantio	113	113	90	90
Irrigação	193	-	193	-
Colheita (8% da produção)	364	162	302	189
Transporte Produção (2% da produção)	91	40	76	47
<b>R\$ ha<sup>-1</sup></b>				
<b>Custos Fixos</b>				
Gradagem pré-nivelamento	121	121	121	121
Manejo pré-plantio (Nivelamento)	108	108	108	108
Semente	705	705	705	705
Adubo base (formula 4.17.27)	490	490	490	490
Adubo de cobertura	38	38	38	38
Nitrogênio	893	893	893	893
Pulverização	20	20	20	20
Herbicidas (Primatop 4L + Glifosato 6L)	133	133	133	133
Transporte Insumos	4	4	4	4
<b>Soma Total dos Custos</b>	<b>3273</b>	<b>2826</b>	<b>3173</b>	<b>2839</b>

Tabela 10. Custos fixos e variáveis para os diferentes manejos de irrigação e drenagem, ano agrícola 2014/2015.

<b>CUSTO</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>Custos Variáveis nos Tratamentos</b>			<b>R\$ ha<sup>-1</sup></b>	
Plantio	113	113	90	90
Irrigação	193	-	193	-
Colheita (8% da produção)	466	428	458	468
Transporte Produção (2% da produção)	117	107	114	117
<b>Custos Fixos</b>			<b>R\$ ha<sup>-1</sup></b>	
Semente Nabo Forrageiro (20 kg ha <sup>-1</sup> )	60	60	60	60
Adubo base Nabo (MAP 250 kg ha <sup>-1</sup> )	397	397	397	397
Semente	705	705	705	705
Adubo base (formula 4.17.27)	490	490	490	490
Adubo de cobertura	38	38	38	38
Nitrogenio	893	893	893	893
Pulverização	20	20	20	20
Herbicidas (Primatop 4L + Glifosato 6L)	133	133	133	133
Transporte Insumos	4	4	4	4
<b>Soma Total dos Custos</b>	<b>3.629</b>	<b>3.387</b>	<b>3.595</b>	<b>3.415</b>

O rendimento de grãos e o número de espigas por metro quadrado variaram conforme o uso da irrigação, no ano agrícola 2013/2014. Os tratamentos (T1 e T3) apresentaram rendimentos de 10,3 e 8,5 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 11), respectivamente. Pelo período de estiagem durante o florescimento os tratamentos não irrigados apresentaram uma queda de produtividade elevada, de 56% na relação dos tratamentos (T1 e T2) e 38% dos tratamentos (T3 e T4). Apesar de a irrigação ser feita por sulcos e banhos, é possível notar que o milho responde a irrigação como os demais métodos de irrigação, como por gotejamento (Rodríguez *et al.*, 2011), aspersão (Bergamaschi *et al.*, 2006). Vieira *et al.* (2013) que também apresentaram uma queda no número de espigas por metro quadrado na relação do uso ou não da irrigação, independente da estratégia de drenagem proposta. Quanto a avaliação do número de grãos por espiga, (T1) foi o que apresentou o maior número de grãos por espigas, 469, justificando assim a maior produtividade. O tratamento (T3) apresentou um valor intermediário apresentando relação com o (T1), maior número de grãos por espigas, e os tratamentos (T2 e T4) que apresentaram menores números de grãos por espiga. Quanto ao peso do grão o tratamento (T3) apresentou o maior peso do grão, 286 mg. O menor peso do grão foi do tratamento (T4), 237 mg.

No segundo ano (2014/2015), não houve diferença significativa entre os tratamentos uma vez que as precipitações constantes acabaram nivelando os resultados dos

tratamentos irrigados (T1 e T3) e não irrigados (T2 e T4). A ocorrência de precipitações durante dias consecutivos gerando precipitações acumuladas de mais até 80 mm em três dias, foi observada em seis oportunidades e não houve prejuízo ao milho. Esse fato demonstrou que as duas estratégias de drenagem, a sistematização em declive e a sistematização em declive mais o uso do microcamalhão, são excelentes alternativas para a drenagem do milho.

Tabela 11. Rendimento de grãos e componentes do rendimento da cultura do milho, nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, na média das três repetições. Cachoeirinha-RS.

Tratamentos	Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )		Espigas por m <sup>2</sup> (Nº.)		Grãos por espiga (Nº.)		Peso do grão (mg)	
<b>Ano agrícola 2013/2014</b>								
<b>T1<sup>1</sup></b>	10,3	a*	8,1	a	469	a	269	ab
<b>T2</b>	4,5	b	6,9	b	264	b	252	bc
<b>T3</b>	8,5	a	8	a	374	ab	286	a
<b>T4</b>	5,3	b	7	b	322	b	237	c
<b>Ano agrícola 2014/2015</b>								
<b>T1</b>	13,7	ns	9,8	ns	488	ns	299	ns
<b>T2</b>	12		9		588		287	
<b>T3</b>	12,8		9,2		535		306	
<b>T4</b>	12,9		9,5		525		293	

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ), ns – Não significativo ( $p < 0,05$ ) na coluna. <sup>1</sup>T1 – 15 cm de altura de microcamalhão com irrigação; T2 – 15 cm de altura de microcamalhão sem irrigação; T3 – Sem microcamalhão com irrigação; T4 – Sem microcamalhão sem irrigação.

Quanto as avaliações econômicas, no ano agrícola 2013/2014 o tratamento (T1) apresentou a maior margem bruta, R\$ 1280 (Tabela 12), ou maior lucro. Apesar de apresentar o maior custo este tratamento apresentou também a maior receita, demonstrando que a irrigação por sulcos, ou o uso do microcamalhão, é uma excelente alternativa para a irrigação podendo gerar um bom retorno financeiro. O tratamento (T3) irrigado por banhos também apresentou a margem bruta positiva. Neste tratamento, apesar de apresentar um custo menor que (T1), foi obtida uma receita menor devido a menor produtividade obtida neste ano.

Ambos os tratamentos sem o uso de irrigação (T2 e T4), apresentaram déficit financeiro neste ano agrícola, ou seja, prejuízo financeiro, pelo fato de apresentar baixos rendimentos de grãos, justificado pelo período de estiagem ocorrido durante os meses de dezembro e janeiro. Apesar da precipitação média histórica (de 1975 a 2015) nestes meses ser de 106 mm para Porto Alegre, segundo o INMET. A ocorrência de déficit hídrico ou pequenas estiagens neste período mesmo em áreas consideradas preferenciais no zoneamento climático afetam a produtividade do milho (Matzenauer *et al.*, 2002), demonstrando que a

irrigação complementar para o cultivo do milho no estado do RS é fundamental para estabilidade técnica e econômica.

No segundo ano (2014/2015), que foi um ano úmido acima da média histórica, todos os tratamentos apresentaram a margem bruta positiva, ou seja, geraram lucro pois mesmo os tratamentos não irrigados apresentaram boa produtividade. Neste ano o custo de produção aumentou por conta do aumento da densidade e do plantio da cobertura de inverno. A receita obtida também aumentou de maneira considerável, justificando o investimento. A maior margem bruta foi para o tratamentos T4 e T1.

Tabela 12. Receita Bruta, Custo de Produção e Margem Bruta, em R\$ ha<sup>-1</sup>, para os anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, Cachoeirinha/RS.

Tratamentos	Receita Bruta	Custo de Produção	Margem Bruta
	R\$ ha <sup>-1</sup>		
	<b>Ano agrícola 2013/2014</b>		
<b>T1*</b>	4552	3272	1280
<b>T2</b>	2023	2826	-803
<b>T3</b>	3780	3172	608
<b>T4</b>	2369	2839	-470
	<b>Ano agrícola 2014/2015</b>		
<b>T1</b>	5829	3717	2213
<b>T2</b>	5350	3475	1875
<b>T3</b>	5723	3684	2040
<b>T4</b>	5856	3503	2353

\*T1 – 15 cm de altura de microcamalhão com irrigação; T2 – 15 cm de altura de microcamalhão sem irrigação; T3 – Sem microcamalhão com irrigação; T4 – Sem microcamalhão sem irrigação.

## 8 CONCLUSÕES

Pode-se concluir, para as condições testadas nesta pesquisa (Gleissolo Háplico Distrófico Típico, declividade de 0,08%, sulcos de 79 m, vazão irrigada de 1,5 L s<sup>-1</sup>) que:

1. A vazão de irrigação de 1,5 L s<sup>-1</sup> se mostrou adequada para os tratamentos com microcamalhão, para o comprimento das parcelas testado de 79 metros, com declividade de 0,08%;

2. Quanto à drenagem, ambas alternativas avaliadas, tanto a utilização somente da declividade como a utilização da declividade associada ao uso de microcamalhão, se mostraram muito eficientes. No primeiro ano agrícola, apesar da ocorrência de uma precipitação de 124 mm em 24 horas, 13 dias após o plantio não houve nenhum problema quanto ao excesso hídrico. No segundo ano, apesar de apresentar precipitações em dias consecutivos gerando precipitações acumuladas de até 80 mm em três dias também não houve problema de excesso hídrico. Ambas alternativas se mostraram viáveis tecnicamente para o cultivo do milho.

3. Quanto ao uso da irrigação, o uso de microcamalhão foi a estratégia com melhor resposta no primeiro ano, pois conseguiu manter o rendimento de grãos independente da distância da entrada de água. Já quando se irrigou por banhos sem microcamalhão esta uniformidade não foi alcançada. Já no segundo ano (2014/2015) não foi possível observar-se diferença significativa entre os tratamentos irrigados por sulcos, banho ou não irrigados pois foi um ano muito úmido, nivelando os resultados do rendimento do milho pois todas os tratamentos receberam quantidade ideal de água em quase todo o ciclo do milho.

4. É possível se obter alto rendimento do milho no tratamento irrigado e com microcamalhão (superior a 13 Mg ha<sup>-1</sup> no segundo ano, e superior a 11 Mg ha<sup>-1</sup> primeiro ano). No segundo ano (2014/2015) não ocorreu precipitações de volume e distribuição adequada, e por consequência ocorreu decréscimo de mais de 50% no rendimento do milho com valores inferiores a 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> nos tratamentos não irrigados.

5. Houve um maior rendimento do milho no segundo ano em todos os tratamentos, devido ao fato deste ano o solo não ter sido desestruturado com o nivelamento da área poucos meses antes do plantio, além de ter sido feita cobertura de inverno nos meses anteriores ao plantio, o que não ocorreu no primeiro ano.

6. Quanto a EUA, o uso do microcamalhão se mostrou adequado para a irrigação e para a economia de água, pois foi com o uso dele que se obteve a maior EUA. A maior EUA considerando a água aportada por irrigação e por chuva foi de 1,31 kg m<sup>-1</sup>

<sup>3</sup>com a utilização de irrigação e microcamalhão e a menor foi no tratamento com irrigação sem microcamalhão ( $0,94 \text{ kg m}^{-3}$ ).

7. O uso do microcamalhão com o uso da irrigação foi o que apresentou o maior lucro no primeiro ano. Neste ano também se notou como muito necessário o uso da irrigação pois ambos os tratamentos não irrigados apresentaram déficit. Sendo o maior deficit no tratamento com microcamalhão não irrigado.

8. A irrigação por sulco ou microcamalhão demonstrou como melhor alternativa técnica e econômica. Ambas as alternativas de drenagem, sistematização do terreno em declive e o uso de microcamalhão associado a sistematização do terreno em declividade mostram-se eficientes, Sendo alternativas viáveis técnica e economicamente.

## **9 RECOMENDAÇÕES**

É necessário que se mantenha os estudos com este tema, visando aumentar as informações para o cultivo do milho em áreas cultivadas com arroz irrigado no RS. Podemos sugerir estudos envolvendo sulcos mais longos, aplicação de irrigações durante apenas o período crítico da cultura e alternativas de irrigação como por exemplo o método de sulcos com uso de mangueiras janeladas para derivar a água para os sulcos.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD EL-WAHED, M. H.; ALI, E. A. **Effect of irrigation systems, amounts of irrigation water and mulching on cron yield, water use efficiency and net profit.** *Agricultural Water Management*, 120, 64-71, 2013.
- ALBERTI, G.; SCHOENFELD, R.; SILVA, P. R. F. da; MENEZES, G. B.; GEHLEN, C.; RICHETTI, C. **Desempenho agronômico de milho em áreas de arroz irrigado.** . In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8, Santa Maria: UFSM. Anais ...2013.>`
- ANA – Agência Nacional de Águas. **GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo.** Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional das Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente: Brasília. 60p, 2007.
- BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G. R.; SANTOS, M. L. V.; FARIAS, J. R. B.; BARNI, N. A. **Agrometeorologia aplicada a irrigação.** Porto Alegre, Ed. Universidade-UFRGS, 125p. 1992.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; VO MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. **Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos.** *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.9, set, p.831-839. 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MULLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. **Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho.** *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.2, p.243-249, fev. 2006.
- BORIN, J. B. M.; MARTINS, A. P.; CARMONA, F. de C.; TROJAN, S. da C.; HERNANDES, G. C.; MARCOLIN, E.; ANGHINONI, I. **Eficiência do uso de nitrogênio e produtividade do arroz, afetados pelo manejo da água de irrigação em gleissoloháplico.** In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8, Santa Maria: UFSM. Anais ...2013.
- CANCELLIER, L.; AFFÉRI, F. S.; DE CARVALHO, E. V.; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. **Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins.** *Rev. Ciênc. Agron.* [online]. vol.42, n.1, pp. 139-148.ISSN 1806-6690, 2011.>`
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento, maio 2013.** Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2013.
- DAG˘DELEN, N.; YILMAZ, E.; SEZGIN, F.; GU˘RBU˘Z, T.; **Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*GossypiumHirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey.** *AgriculturalWater Management* 82.p 63–85, 2006.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção**, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 5ª edição Setembro, 2009.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção**, 1 ISSN 1679-012 Versão Eletrônica - 2ª Edição Dezembro, 2006.

FABER, M. E. E. **A importância dos rios para as primeiras civilizações**. Disponível em: <[www.historialivre.com/antiga/importancia\\_dos\\_rios.pdf](http://www.historialivre.com/antiga/importancia_dos_rios.pdf)>. 1a ed. 2011. Acesso em: 18/3/2014.

FACCIONI, G. de C.; OLIVEIRA, A. J. de; FIGUEIREDO, C. C. de; SANTO, E. do E. **Estudo da viabilidade financeira da implantação de pivô central com a utilização de rotação de culturas no oeste baiano**. Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. XLIV Congresso da SOBER, Fortaleza, 2006.

FGV - Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <http://www.portalbrasil.net/igp.htm>. Acessado em: 05/03/2015.

FIGUEIREDO, M. L. C.; MARTINS-DIAS, A. M. P.; CRUZ, I. **Relação entre a lagarta-do-cartucho e seus agentes de controle biológico natural na produção de milho**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.12, p.1693-1698, dez. 2006.

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

GOMES, E. P.; OLIVEIRA, G. Q. de; SCHWERZ, F.; SILVA, P. A. da; BISCARO, G. A.; SANTOS, R. C. **Avaliação do medidor eletrônico de umidade do solo “hidrofarm” em latossolo vermelho distroférrico**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.7, nº. 1, p. 85 - 90, 2013.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro v.26 n.6 junho, 2013, p.1-81

**INDICAÇÕES. INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DO MILHO E DO SORGO NO RIO GRANDE DO SUL SAFRAS 2013/2014 e 2014/2015** / Editores técnicos, Beatriz MartiEmygdio, Ana Paula Schneid Alonso da Rosa e Mauro César Celaro. – Brasília, DF: Embrapa, 124 P. 2013.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acessado em: 03/03/2015.

IRGA [internet]. Serviços e informações: Safras. **Soja na várzea safra 2013/14**. [acessado em 2014 maio 3]. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>.

IUDÍCIBUS, S. de; MARION, J. C. **Manual de contabilidade para não contadores**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1990.

KANG, S.; LIANG, Z.; PAN, Y.; SHI, P.; ZHANG, J. **Alternative furrow irrigation for maize production in an arid area**. Agricultural Water Management, 45, 267-274, 2000.

MACEDO, J.R.; MENEGUELLI, N. A., OTTONI FILHO, T.B.; **Estimation of Field Capacity and Moisture Retention Based on Regression Analysis Involving Chemical and Physical Properties in Alfisols and Utilisols of the State of Rio de Janeiro**. SoilSci. Plant Anal., v. 33 (13 and 14), ppp.2037-2055. 2002.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; MENEZES, V. G.; TRONCHONI, J. G.; JEAGER, R. L.; GADEA, H. M.; de BARROS, J. A. I.; de FREITAS, J. P. M.; CREMONESE, J. L.;

FONSECA, E. L. **Rendimento de grãos e eficiência do uso da água em lavouras comerciais de arroz irrigado com manejo adequado.** Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado , 7; 2011, Balneário Camboriú, SC. Racionalizando recursos e ampliando oportunidades: anais. Itajaí: Epagri/Sosbai, 869 p, 2v, 2011.

MARIANO, J.C.Q.; SANTOS, G.O.;FEITOSA, D.G.; HERNANDEZ, F.B.T. **Software para cálculo da evapotranspiração de referência diária pelo método de Penman-Monteith.** In: CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, XXI. Petrolina: ABID, 20 a 25 de novembro de 2011, 2011. 6p. [http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2011\\_jean.pdf](http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2011_jean.pdf) FINANCIAMENTO: FAPESP, Processos 2009/52.467-4 e 2010/10.766-2.

MARIOT, C. H. P.; VIEIRA, V. M.; SILVA, P. R. F. da; MENEZES, V. G.; OLIVEIRA, C. F. de; FREITAS, T. F. S. de. **Práticas de manejo integradas para a produção de arroz irrigado.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 44, n. 3, p. 243-250, mar, 2009.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MACHADO, F. A.; ROSA, F. S. da. **Análise agroclimática das disponibilidades hídricas para a cultura da soja na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 263-275, 1998a.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MALUF, J. R. T. **Evapotranspiração da cultura do milho. I - Efeito de épocas de semeadura.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 9-14, 1998b.

MATZENAUER, R. BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.;MALUF, J.R.T.; BARNI, N.A.;BUENO, A.C.; DIDONÉ, I.A.; ANJOS, C.S.; MACHADO, F.A.; SAMPAIO, M.R.. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre:Fepagro, 2002. 105p. (Boletim Fepagro, 10).

MINETTO, T.**Revista custo de Produção.** Anos 42, 43 e 44. Porto Alegre: Federação das Cooperativas Agrícolas do Estado do Rio Grande do Sul. 2003, 2004 e 2005. 98 p.

MURLIKI, J. D.; CASTRO, N. M. R.; LOUZADA, J. A.; Oliveira, M. H. C. de; SCIVITTARO, W. B. **Efeito de lâminas de água sobre a demanda hídrica e eficiência de irrigação do arroz.** In: VI Congresso Nacional brasileiro de Arroz irrigado, 2009, Porto Alegre. Estresses e sustentabilidade: desafios para a lavouraarrozeira, 2009.

NETO, A. N. da S.; SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de;**Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo.** Pesquisa Agropecuária Tropical, 36 (1): 29-35, 2006– 29.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica.** 2.ed. São Paulo: Atlas, 269p. 1987.

PARFITT, J. M.B., Coord. **Produção de milho e sorgo na várzea.** (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 74.) 146 p. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000.

PETRY, C.; RODRIGUES, J. F.; BUZATO, L. F.; da SILVA, P. R. F.; CARMONA, F. C. **Irrigação intermitente em arroz irrigado e eficiência do uso da água.** Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7; 2011, Balneário Camboriú, SC. Racionalizando recursos e ampliando oportunidades: anais. Itajaí: Epagri/Sosbai, 2011, 869 p, 2v.

REGO, P.G. **Economia das rotações de cultura em plantio direto**. Revista Mensal Batavo, 31:20 - 28, 1994.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. & BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames, Iowa State University of Science and Technology, 1993.26p. (Special Report, 48).

RODRÍGUEZ, H.; BATTISTA, J. de; DARDANELLI, J.; CASTELLÁ, M.; PESSOLANI, B.; CHAIX, X. **Efecto del Riego en soja y maíz en un vertisol de Entre Ríos**. 1. Eficiencia em el uso del agua. Cultivo de Soja em el centro este de E. R. – Resultados 2010/11. 2011.

SALASSIER, B.; **Manual de irrigação**. 5. 3e. Viçosa, UFV, Impr. Univ. 1989.

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, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 747-755, mai-jun, 2006.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; PRESTES, A. M.; LIMA, M. R. de; **Efeito de manejos de solo e de rotação de culturas de inverno no rendimento e doenças de trigo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. vol.35 no.12 Brasília Dec. 2000.

SCHIRMER, L. M.; MATTUELLA, J. L. **Análise da viabilidade econômica da irrigação da cultura do milho pelo sistema de pivô-central no Rio Grande do Sul**. Análise econômica, ano 10, n. 17, Porto Alegre, Faculdade de Ciências Econômicas, UFRGS, março, 1992.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. S.; LOUZADA, J. A.; CASTRO, N. M. R.; VALE, M. L. C.; FERREIRA, L. H. G.; WINKLER, A. S.; SILVA, P. S. **Estratégia para o aumento da eficiência de uso da água pelo arroz: efeito da época de início de irrigação**. In: 17a Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008, Rio de Janeiro. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008.

SEPASKHAH, A. R.; KHAJEHABDOLLAHI, M. H. **Alternate Furrow Irrigation with Different Irrigation Intervals for Maize (Zeamays L.)**. Plant Production Science, Vol. 8, no. 5 P 592-600, 2005.

SILVA, A. A. da; SILVA, P. R. F. da; MINETTO, T.; STRIEDER, M. L.; JANDREY, D. B.; ENDRIGO, P. C. **Desempenho agrônomo e econômico do milho irrigado em sucessão a espécies invernais de cobertura de solo e/ou para produção de grãos**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 620-627, mai-jun, 2008.

SILVA, C. A. S. da; PARFITT, J. M.B.; THIESEN, G.; SILVA, J. J. C. da; POHLMANN, N. F.; CARVALHO, E. N.; SEGABINAZI, D. R. **Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea**. Comunicado técnico. ISSN 1806-9185. Pelotas, RS. Dezembro, 2007.

SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. da; **Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta**. Ciência Rural, Santa Maria, v.36, n.3, mai-jun, p. 1011-1020, 2006.

SILVA, P. R. F. da; SCHOENFELD, R.; **Desafios e perspectivas da rotação com milho**. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8, Santa Maria: UFSM. Anais ... 2013.

SILVA, R. N. da.; **Características fisiológicas e bioquímicas de plantas de soja [Glycinemax (L.) merrill] sob condições de hipóxia**; orientador Nei Fernandes Lopes ; co-orientador Dario Munt de Moraes, Flávio Gilberto Herter. – Pelotas, 2009. – 96f. ; gráf. – Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Instituto de Biologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2009.

SILVA, P. R. F. da; PIANA, A. T.; MAASS, L. B.; SERPA, M. da S.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; ENDRIGO, P. C. JANDREY, D. B. **Adequação da densidade de plantas à época de semeadura em milho irrigado**. Revista de Ciências Agroveterinárias. Lages, v.9, n.1,p. 48-57, 2010 ISSN 1676-9732.

SOARES, F. C., **Análise da viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (Zea mays L.)** / Fátima Cibele Soares. 1985- 676ª 2010. 113 f. ; il. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola, 2010. “Orientador: Prof. Marcia Xavier Peiter” 1. Agricultura 2. Irrigação de precisão 3. Milho 4. Solo 5. Semeadura I. Peiter, Marcia Xavier II. Título CDU: 631.67, 2010.

STRECK, E.V.; KÄMPF, 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: UFRGS, 222p. 2008.

TESTEZLAF, R; MATSURA, EE; CARDOSO, JL. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio**. CSEI/ABIMAQ FEAGRI, UNICAMP. Campinas. 41p, 2002.

TURRA, M. A.; LOPES, F. B.; FERRARI, L. E.; VEDELAGO, A.; LANGE, C. E.; KALSING, A. **Redução da infestação de gramíneas anuais em soja cultivada em área arrozeira com herbicidas residuais - análise das safras 2011/12 e 2012/13**. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8, Santa Maria: UFSM. Anais ...2013.

USDA - United State Department of Agriculture. **Grain: World Markets and Trade.Foreign Agricultural Service**, Circular Series FG 09-13, September 2013.

VERNETTI JUNIOR, F. de J. Soja: **Resultados de Pesquisa na Embrapa Clima Temperado – 2007** / Organizado por Francisco de Jesus Verneti Junior. 85 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 214). Pelotas : Embrapa Clima Temperado, 2007.

VERNETTI JUNIOR, F. J.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. **Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional**. R. Bras. Agrociência, Pelotas, v15, n.1-4, p.37-42, jan-dez, 2009.

VIEIRA, V. M.; SILVA, P. R. F. da; SANGOI, L.; CASTRO, N. M. dos R.; STRIEDER, M. L.; JANDREY, D. B.; ENDRIGO, P. C.; SERPA, M. da S.; LOUZADA, J. A. S. **Rendimento de grãos de milho sob diferentes sistemas de irrigação por aspersão**. Irriga, Botucatu, v. 18, n. 3, p. 471-485, julho-setembro, 2013.

VITTUM, M. T.; ALDERFER, R. B.; JANES, B. E.; REYNOLDS, C. W.; STRUCHTEMEYER, R. A.; **Crop response to irrigation in the Northeast**.N. Y. StateAgricultural Exp. StationBulletin 800, 1963.

WANDER, A. L.; SOUZA, R. da S.; RICARDO,T. R.; SILVEIRA, P. M. da. **Viabilidade econômica e risco da rotação e consorciação de cultivos para a integração lavoura-**

**pastagem em condições irrigadas no cerrado brasileiro** Informações Econômicas, SP, v.40, n.5, maio 2010.

## 11 ANEXOS

### 11.1 Anexo 1

Tabela 13. Resumo da análise de variância dos resultados da análise agrônômica para as avaliações de rendimento de grãos, componentes do rendimento e EUA, Cachoeirinha, RS. Ano agrícola 2013/2014.

Fator de Variação	Quadrados médios (QM)					
	GL <sup>1</sup>	Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Espigas por m <sup>2</sup> (No.)	Grãos por espiga (No.)	Peso do grão (mg)	EUA (kg m <sup>-3</sup> )
Irrigação X Microcamalhão	1	14,11**	0,04*	64279,15**	2302,40**	0,33**
Irrigação X Dist. Entrada d'água	2	6,73*	0,54*	8395,51*	746,84**	0,11*
Microcamalhão X Dist. Entrada d'água	2	7,92**	0,82*	24315,04*	742,30**	0,15*
Irrigação X Microcamalhão X Dist. Entrada d'água	2	19,66**	0,08*	37534,58**	1390,26**	0,42**
Tratamento	11	24,28**	1,54**	34772,98**	1646,16**	0,18**
Bloco	2	0,24*	0,02*	2574,30*	261,32**	0,02*
Resíduo	22	2,29	0,39	7543,68	185,50	0,05
Total	35					
CV (%)		21,12	8,31	24,03	5,22	20,73

<sup>1</sup>GL: Graus de Liberdade; \*Não significativo pelo teste de Tukey (p<0,05); \*\*Significativo pelo teste de Tukey (p<0,05).

### 11.2 Anexo 2

Tabela 14. Resumo da análise de variância dos resultados da análise agrônômica para as avaliações de rendimento de grãos, componentes do rendimento e EUA, Cachoeirinha, RS. Ano agrícola 2014/2015.

Fator de Variação	Quadrados médios (QM)					
	GL <sup>1</sup>	Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Espigas por m <sup>2</sup> (No.)	Grãos por espiga (No.)	Peso do grão (mg)	EUA (kg m <sup>-3</sup> )
Irrigação X Microcamalhão	1	4,37**	1,56*	27390,25**	0,44*	0,11**
Irrigação X Dist. Entrada d'água	2	1,80*	0,06*	1328,44*	154,11*	0,04*
Microcamalhão X Dist. Entrada d'água	2	1,91*	1,37*	3987,11*	81,33*	0,04*
Irrigação X Microcamalhão X Dist. Entrada d'água	2	0,44*	0,64*	2608,00*	140,44*	0,01*
Tratamento	11	1,67*	0,76*	6056,13*	283,96**	0,07**
Bloco	2	3,97**	0,31*	4488,58*	167,53*	0,10**
Resíduo	22	0,97	0,59	5837,92	112,16	0,02
Total	35					
CV (%)		7,67	7,75	14,31	3,58	7,70

<sup>1</sup>Graus de Liberdade; \*Não significativo pelo teste de Tukey (p<0,05); \*\*Significativo pelo teste de Tukey (p<0,05).

### 11.3 Anexo 3

Tabela 15. Resumo da análise de variância dos resultados da análise econômica para as avaliações de rendimento de grãos e componentes do rendimento, Cachoeirinha, RS. Ano agrícola 2013/2014.

Fator de Variação	Quadrados médios (QM)				
	GL <sup>1</sup>	Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Espigas por m <sup>2</sup> (No.)	Grãos por espiga (No.)	Peso do grão (mg)
Bloco	2	0,08*	0,01*	856,67*	87,13*
Tratamento	3	21,67**	1,04**	26631,01**	1331,23**
Resíduo	6	1,07	0,06	2599,06	4595,13
Total	11				
CV (%)		14,40	3,26	14,10	3,23

<sup>1</sup>GL: Graus de Liberdade; \*Não significativo pelo teste de Tukey (p<0,05); \*\*Significativo pelo teste de Tukey (p<0,05).

### 11.4 Anexo 4

Tabela 16. Resumo da análise de variância dos resultados da análise econômica para as avaliações de rendimento de grãos e componentes do rendimento, Cachoeirinha, RS. Ano agrícola 2014/2015.

Fator de Variação	Quadrados médios (QM)				
	GL <sup>1</sup>	Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Espigas por m <sup>2</sup> (No.)	Grãos por espiga (No.)	Peso do grão (mg)
Bloco	2	1,31*	0,10*	1493,73*	51,93*
Tratamento	3	0,82*	0,46*	5141,85*	189,62*
Resíduo	6	0,49	0,25	3041,42	44,03
Total	11				
CV (%)		5,45	5,04	10,33	2,24

<sup>1</sup>GL: Graus de Liberdade; \*Não significativo pelo teste de Tukey (p<0,05); \*\*Significativo pelo teste de Tukey (p<0,05).