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

Elisa de Almeida Gollo

SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO E IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE PARA O CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

Santa Maria, RS
2016

Elisa de Almeida Gollo

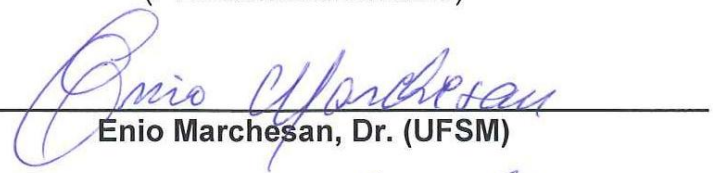
Elisa de Almeida Gollo

SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO E IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE PARA O CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

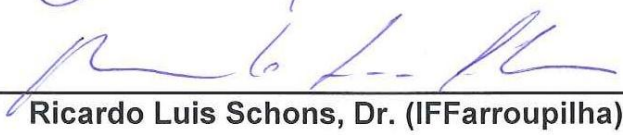
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Aprovado em 25 de fevereiro de 2016:

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



Énio Marchesan, Dr. (UFSM)



Ricardo Luis Schons, Dr. (IFFarroupilha)

Santa Maria, RS
2016

A minha mãe Dione Gollo,
meu maior orgulho e exemplo,
meu porto seguro,
por todo o amor, dedicação,
apoio e incentivo,
em todos os momentos.

Ao meu irmão David Gollo,
presente que Deus me deu,
por ser o melhor que eu poderia ter.

Ao meu amado pai Rudimar Gollo *(in memorian)*,
por ter me transmitido o gosto pela agricultura,
e que, mesmo não estando mais aqui,
se faz presente em minhas lembranças e orações,
todos os dias de minha vida.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre iluminar o meu caminho.

A minha mãe, Dione Gollo, que não mede esforços para me proporcionar tudo que estiver a seu alcance e por todo o amor, carinho, incentivo e apoio dedicado.

Ao meu irmão, David Gollo, por todo apoio, cumplicidade e carinho.

A minha família, queridos Gollos, pelo incentivo em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Adroaldo Dias Robaina, pela oportunidade, orientação, dedicação, ensinamentos, pela amizade, carinho, paciência e confiança depositada.

A Prof[a] Marcia Xavier Peiter, pela amizade, carinho, orientação e ensinamentos.

Ao Prof. Enio Marchesan pela orientação, ensinamentos, e por ter me acolhido em seu grupo e viabilizado a execução e condução desse trabalho através da estrutura e meios disponibilizados.

Aos colegas de pós-graduação do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado, Guilherme Cassol, Robson Giacomeli, Lillian Oliveira, Lucas Lopes Coelho e Silvana Fin, pela amizade, por todo apoio prestado no mais variados momentos, troca de experiências e auxílio na realização das atividades.

Aos demais colegas do grupo GPai, Gabriel Donato, Ricardo de David, Vinicius Trivisiol, Anelise Lencina, Mauricio Linberger de Oliveira, Marília Ferreira, Bruno Aramburu, João Alberto Farenzena, Guilherme Pozzobon, Rafael Milanesi, Roberto Shutz e Isabel Werle, pela amizade, convívio e todo auxílio prestado durante a condução desse trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Engenharia de Irrigação, Jardel Kirchner, Wellington Mezzomo, Leonita Girardi, Luis Humberto Ben, Anderson Crestani, Ricardo Rosso, Rogério Torres, Taise Buske, Chaiane Guerra, Silvana Rodrigues, Bruna Pimenta e Vinicius Loregian pelo convívio, amizade e troca de conhecimentos.

Aos amigos Viviane Shons de Ávila, Mariana Dossin, Regis Stake, Beatriz Barbosa, Letícia Frizzo e Ingrid Cabrera, sempre presentes ao longo dessa caminhada, por todo o apoio, amizade e companheirismo.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola.

A CAPES pelo auxílio financeiro concedido.

Muito Obrigada!

“Cada um de nós compõe a sua história
Cada ser em si carrega o dom de ser capaz
E ser feliz.”

Almir Sater

RESUMO

SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO E IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE PARA CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

AUTORA: Elisa de Almeida Gollo
ORIENTADOR: Adroaldo Dias Robaina

O sistema de implantação com camalhão e a utilização da irrigação por superfície podem ser práticas importantes para aumentar a eficiência do processo de drenagem e garantir o estabelecimento adequado da cultura no sistema de rotação, além de assegurar a expressão do potencial produtivo do milho em áreas de arroz irrigado. Nesse sentido, os objetivos do presente trabalho foram: avaliar a resposta do milho cultivado em áreas de arroz irrigado quanto às características agronômicas, componentes de rendimento e rendimento de grãos, sob diferentes sistemas de implantação e irrigação por superfície; e avaliar a eficiência de uso da água pela cultura do milho para os tratamentos irrigados por superfície nos diferentes sistemas de implantação. Para o atendimento dos objetivos, dois experimentos de campo foram conduzidos durante a safra 2014/15 em área experimental sistematizada de arroz irrigado da Universidade Federal de Santa Maria - RS. O experimento I, constituiu-se de um fatorial, conduzido em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Os níveis para o fator A foram compostos pelos sistemas de implantação: A1= com camalhão; A2= sem camalhão; e os níveis do fator D compostos por: D1= com irrigação; D2= sem irrigação. Já o experimento II foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com dois tratamentos: T1 = Irrigação por sulcos; T2 = Testemunha (sem irrigação), ambos sobre camalhões, com quatro repetições. Foram utilizadas sementes do milho híbrido AG9045 em ambos os experimentos. Os resultados obtidos evidenciam que a utilização do sistema de implantação com camalhão proporciona aumento em características agronômicas de crescimento e em componentes de rendimento do milho, além de maior eficiência do uso da água e acréscimo no rendimento de grãos, comparativamente ao sistema sem camalhão. O uso da irrigação em períodos de déficit hídrico no solo aumenta o rendimento de grãos de milho cultivado em áreas de arroz irrigado, independente do sistema de implantação utilizado. A combinação entre o sistema de implantação com camalhão e a irrigação é a que proporciona maior acréscimo no rendimento de grãos de milho, em relação aos sistemas testados.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Cultivo em Camalhões. Suplementação hídrica.

ABSTRACT

IMPLANTATION SYSTEMS AND SURFACE IRRIGATION FOR MAIZE CULTIVATION IN IRRIGATED RICE AREAS

AUTHOR: Elisa de Almeida Gollo
ADVISOR: Adroaldo Dias Robaina

The implantation system with rised beds and the use of surface irrigation can be important practices to increase efficiency of the drainage process and ensure the proper establishment of culture in the system of rotation, as well as ensuring the expression of the productive potential of maize in irrigated rice areas. In this way, the objectives of this study were: to assess the response of maize grown in irrigated rice areas as agronomic characteristics, yield components and grain yield under different deployment systems and surface irrigation; and evaluate the efficiency of water use by the culture of maize for the irrigated area treatments in different implantation systems. To reach the objectives, two field experiments were conducted during the crop 2014/15 in experimental systematized area of irrigated rice at the Universidade Federal de Santa Maria-RS. The experiment I, consisted of a factorial, conducted in random blocks design with four replications. The factor levels were composed by deployment systems: A1 = with rised beds; A2 = without rised beds; and factor D levels consisting of: D1 = with irrigation; D2 = without irrigation. Already the experiment II was conducted in random blocks design with two treatments: T1 = Irrigation by furrows; T2 = Witness (without irrigation), both in rised beds, with four replicates. Hybrid maize seeds were used AG9045 in both experiments. The results obtained show that use of the implantation system with rised beds provides an increase in agronomic characteristics of growth and maize yield components as well as increased efficiency of water use and increase in grain yield compared to the system without rised beds. The use of irrigation in periods of drought increases the maize yield in irrigated rice areas, regardless of the implantation system used. The combination of the implantation system with rised beds and furrow irrigation provides greater increase in maize yield, compared to the tested systems.

Key words: Zea mays L. Rised beds. Water irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem aérea da área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, com destaque para a localização dos experimentos I e II. Santa Maria, RS, 2016 27

Figura 2 – Representação esquemática dos camalhões em corte perpendicular as linhas de semeadura. Santa Maria, RS, 2016 29

Figura 3 – Distribuição das precipitações e eventos de irrigação para os tratamentos sem camalhão (A) e com camalhão (B) durante o período de cultivo do milho em área de arroz na safra 2014/15. Santa Maria, RS, 2016.....37

Figura 4 – Variação da umidade do solo na camada de 0-0,20m para os tratamentos com camalhão e sem camalhão com irrigação (A) e com camalhão e sem camalhão sem irrigação (B), durante os eventos de irrigação do milho na safra 2014/15. Santa Maria, RS, 2016 38

Figura 5 – Distribuição das precipitações e eventos de irrigação durante o período de cultivo do milho em área de arroz na safra 2014/15. Santa Maria, RS, 2016.....47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição do tamanho de partículas de solo (g kg^{-1}) e densidade do solo (Ds) (kg m^{-3}) nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m. Santa Maria, RS, 2016. 28

Tabela 2 – Capacidade de campo (CC) (m^3 m^{-3}), ponto de murcha permanente (PMP) (m^3 m^{-3}), e conteúdo de água disponível (CAD) (mm) nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m. Santa Maria, RS, 2016.....31

Tabela 3 – Distribuição do tamanho de partículas de solo (g kg^{-1}) e densidade do solo (Ds) (kg m^{-3}) nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m. Santa Maria, RS, 2016.....34

Tabela 4 – Capacidade de campo (CC) (m^3 m^{-3}), ponto de murcha permanente (PMP) (m^3 m^{-3}), e conteúdo de água disponível (CAD) (mm) na camada de 0,0-0,2 m. Santa Maria, RS, 2016 35

Tabela 5 – Lâmina de irrigação total aplicada (mm), precipitação acumulada durante o período (mm) e somatório do total de água aplicada à cultura do milho durante seu ciclo de desenvolvimento (mm) para os diferentes sistemas de implantação. Santa Maria, RS, 2016 39

Tabela 6 – Características agronômicas de crescimento do milho: altura de plantas (m), diâmetro do colmo (mm), índice de área foliar (IAF) e massa seca da parte aérea (g $planta^{-1}$); avaliadas no estádio VT (pendoamento) de desenvolvimento da cultura em função dos sistemas de implantação e da irrigação. Santa Maria, RS, 2016 40

Tabela 7 – Componentes de rendimento do milho: espigas por planta (n°), comprimento de espigas (cm), grãos por espiga (n°) e massa de mil grãos (g); em função dos sistemas de implantação e da irrigação. Santa Maria, RS, 2016 43

Tabela 8 – Rendimento de grãos de milho (kg ha^{-1}) nos sistemas com e sem camalhão em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2016 45

Tabela 9 – Acréscimo no rendimento de grãos de milho proporcionado pela irrigação (ARG) (kg ha^{-1}), lâmina de irrigação total aplicada nas irrigações (LIT) (mm), eficiência do uso da água (EUA) (kg ha^{-1} m^{-3}), e eficiência de irrigação (EI) (kg ha^{-1} mm^{-1}) em função dos sistemas de implantação utilizados. Santa Maria, RS, 2016 46

Tabela 10 – Características agronômicas de crescimento do milho: altura de plantas (m), diâmetro do colmo (cm) e altura de inserção da espiga (m); em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2016.....48

Tabela 11 – Componentes de rendimento do milho: espigas por planta (n°), grãos por espiga (n°) e massa de mil grãos (g); em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2016 48

Tabela 12 – Rendimento de grãos de milho (kg ha^{-1}), e eficiência do uso da água (EUA) (kg ha^{-1} m^{-3}) em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2016.....49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 REVISÃO DE LITERATURA 16
2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CULTIVO DO ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL 16
2.2 ROTAÇÃO DE CULTURAS EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO 17
2.3 O CULTIVO DO MILHO EM ROTAÇÃO COM ARROZ IRRIGADO 18
2.4 PRINCIPAIS ESTRESSES RELACIONADOS AO CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO 19
2.4.1 Excesso hídrico 20
2.4.2 Déficit hídrico 21
2.5 ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA A SUPRESSÃO DE ESTRESSES NO CULTIVO DO MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO 22
2.5.1 Sistema de implantação em camalhões 22
2.5.2 Irrigação 23
2.5.2.1 Sistemas de irrigação por superfície 24

3 MATERIAL E MÉTODOS 27
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL 27
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS 28
3.2.1 Experimento I – Influência do uso de camalhões e irrigação por superfície no cultivo de milho em áreas de arroz irrigado 28
3.2.2 Experimento II – Resposta do milho cultivado em camalhões à irrigação por sulcos em áreas de arroz irrigado 33
3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS 36

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 37
4.1 EXPERIMENTO I – INFLUÊNCIA DO USO DE CAMALHÕES E IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE NO CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO 37
4.2 EXPERIMENTO II – RESPOSTA DO MILHO CULTIVADO EM CAMALHÕES À IRRIGAÇÃO POR SULCOS EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO 46
4.3 DISCUSSÃO GERAL 49

5 CONCLUSÃO 52

REFERÊNCIAS 53

1 INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul dispõe de aproximadamente 5,4 milhões de hectares de terras baixas. Destes, estima-se que 3 milhões de hectares são estruturados para o cultivo do arroz irrigado. Onde, anualmente, cultiva-se em torno de um milhão de hectares com a cultura, caracterizando-a como principal exploração agrícola nessas áreas. O sistema de produção tradicional estabelecido nessas áreas configura o cultivo do arroz irrigado e a pecuária extensiva de corte, no qual, as áreas que não são utilizadas para estes fins, permanecem em pousio.

Porém, essa matriz produtiva restrita, além de subutilizar as áreas, que possuem potencial para utilização mais intensiva, devido à estrutura de irrigação e drenagem já instaladas, resulta em baixa rentabilidade para o produtor. A utilização desse sistema, ainda apresenta como agravante a redução da capacidade produtiva das áreas, ocasionada pelo aumento da incidência de doenças, pragas e, principalmente, plantas daninhas, além da degradação dos solos, provocados pelo monocultivo do arroz nessas áreas.

Impulsionada por estes fatores, e em busca da sustentabilidade do sistema produtivo do arroz, observa-se uma crescente transição do sistema de exploração tradicional binomial utilizado nas áreas de cultivo do arroz para um sistema misto, através da introdução de culturas de sequeiro, como a soja e o milho, nesse ambiente, em rotação com o arroz irrigado. A rotação de culturas em solos cultivados com arroz irrigado visa melhorar o uso do solo e sua qualidade, otimizar o uso das máquinas e da mão-de-obra, diversificar a renda, romper ciclos de doenças e pragas, diminuir os níveis de infestação de plantas daninhas nas lavouras de arroz, principalmente do arroz vermelho, além de aumentar a rentabilidade da área.

Dentre as espécies mais estudadas para introdução no sistema de rotação com o arroz irrigado encontra-se o milho. A rotação com milho nessas áreas, além de visar os benefícios apresentados acima para a rotação de culturas em geral, ainda apresenta como vantagens a ciclagem de nutrientes do solo, adição de grande quantidade de palha ao solo e a possibilidade da utilização da silagem e/ou dos grãos para a alimentação animal na propriedade. Além de que, trabalhos evidenciam que a rotação com o milho aumenta o rendimento de grãos de arroz (VERNETTI JR et al., 2009a) e apresenta maior índice de sustentabilidade (VERNETTI JR et al., 2009b), quando comparado à utilização de soja ou espécies de inverno em rotação.

Apesar dos benefícios supracitados, proporcionados ao sistema de produção do arroz, a introdução de milho nessas áreas geralmente encontra como fatores limitantes: o elevado custo de produção e a grande oscilação de mercado para a venda de grãos desse cereal, que diminuem sua competitividade em relação à utilização da soja, por exemplo. Além das limitações de ambiente que naturalmente ocorrem para o cultivo de espécies de sequeiro nessas áreas, ocasionadas, principalmente, pelas características dos seus solos, aliadas a fatores climáticos e de cultivo.

Como limitações do ambiente, apresentam-se: a drenagem deficiente, a baixa capacidade de armazenamento de água e a presença de uma camada compactada próxima à superfície desses solos, características essas, que associadas ao relevo geralmente plano dessas áreas, podem potencializar a ocorrência de estresses hídricos e limitar significativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho em áreas de arroz.

O excesso hídrico, devido à drenagem deficiente do solo, é o estresse mais pronunciado em cultivo de milho em áreas de arroz. Sua ocorrência acarreta em deficiência de oxigênio para as raízes, resultando em decréscimos no crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura nesses ambientes. Sua severidade depende de fatores como a duração do estresse, condições climáticas durante o período e estádio vegetativo da cultura. Sendo o milho mais afetado quando esse estresse ocorre durante os períodos vegetativos da cultura.

Tendo em vista a ocorrência anual de frequentes períodos de déficit hídrico no estado durante os meses de cultivo do milho devido à distribuição irregular das precipitações ao longo dos anos, esse estresse também é considerado importante para o cultivo de milho em áreas de arroz irrigado. A deficiência hídrica afeta a cultura do milho em todos os estádios de desenvolvimento, proporcionando reduções de crescimento, desenvolvimento e produção. Porém, quando o déficit hídrico ocorre durante os estádios compreendidos entre o pendoamento e início do enchimento de grãos do milho, período considerado crítico a esse estresse, seu efeito é severo, e pode reduzir consideravelmente o rendimento de grãos da cultura.

Em vista do exposto, para a introdução de milho em áreas de arroz irrigado, é necessário o estabelecimento de um adequado sistema de drenagem. Para isso, a adequação da superfície do terreno através da utilização de um sistema de implantação é necessária para o estabelecimento das culturas de sequeiro nessas

áreas. Dentre estes, o sistema de cultivo em camalhões tem como característica proporcionar melhorias no processo de drenagem das áreas de arroz, pois permite o escoamento dos excessos de água através dos sulcos formados entre os mesmos. Além de apresentar outros benefícios como a melhoria de aspectos físicos do solo e do cultivo, e facilitar a condução da água nas irrigações por sulcos.

Além de melhorias na drenagem, outro pressuposto que deve ser atendido para viabilizar a rotação com milho em áreas de arroz, é a adoção da irrigação. Entre os principais sistemas de irrigação por superfície utilizados nessas áreas para o cultivo do milho, estão: a irrigação por faixas e a irrigação por sulcos. Esses sistemas apresentam como principal benefício o baixo investimento inicial, pois utilizam a estrutura de condução da água existente na propriedade empregada para a irrigação do arroz.

Desse modo, o sistema de implantação com camalhão e a utilização da irrigação por superfície podem ser práticas importantes para aumentar a eficiência do processo de drenagem da área e garantir o estabelecimento adequado da cultura no sistema de rotação, além de assegurar a expressão do potencial produtivo do milho em áreas de arroz irrigado.

Nesse sentido, os objetivos do presente trabalho foram: a) avaliar a resposta do milho cultivado em áreas de arroz irrigado, quanto às características agronômicas de crescimento, componentes de rendimento e rendimento de grãos, sob diferentes sistemas de implantação e irrigação por superfície; b) avaliar a eficiência de uso da água pela cultura do milho para os tratamentos irrigados por superfície nos diferentes sistemas de implantação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CULTIVO DO ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL

O Rio Grande do Sul (RS) dispõe de aproximadamente 5,4 milhões de hectares de solos de terras baixas, o que representa cerca de 20% da área do estado (MARCHEZAN et al., 2002; GOMES et al., 2006). Estes solos estão predominantemente localizados na região das Planícies Costeiras, Externa e Interna, e no Litoral Sul junto as Lagoas dos Patos e Mirim, nas Planícies dos rios da Depressão Central, como os rios dos Sinos, Caí, Taquari e Jacuí, e nas regiões da Campanha e Fronteira-Oeste, ao longo dos rios Ibicuí, Santa Maria, Quaraí e outros menores (PINTO et al., 2004).

Dentre as classes de solo encontradas nas áreas de terras baixas do Rio Grande do Sul, destacam-se os Planossolos, os quais estão presentes em 56% das áreas, seguindo-se em ordem decrescente, pelas classes dos Chernossolos (16%), Neossolos (11,6%), Plintossolos (8,3%), Vertissolos (9%) e Gleissolos (7,1%) (PINTO et al., 2004). Como característica comum, esses solos apresentam formação hidromórfica, que é uma condição de drenagem deficiente, o que lhes confere determinadas peculiaridades nos atributos físicos e químicos em relação aos demais tipos de solo existentes no estado.

Do ponto de visto físico, esses solos são caracterizados pela baixa porosidade total, com predominância de microporos, densidade natural elevada, camada compactada próxima à superfície, baixa estabilidade de agregados e tendência à formação de encrostamento superficial (GOMES et al., 2006). E, segundo o mesmo autor, essas características fazem com que estes solos apresentem baixa condutividade hidráulica e velocidade de infiltração de água, dificultando o processo de drenagem do perfil. Além da baixa capacidade de armazenamento de água destes solos, consequente de um perfil cuja camada superficial é pouco profunda e a subsuperficial é praticamente impermeável devido à compactação, que pode limitar o desenvolvimento de culturas de sequeiro em períodos de estiagem que tradicionalmente ocorrem no verão, devido à baixa disponibilidade de água às plantas (BISPO, 2011).

Do total de terras baixas presentes do estado, aproximadamente 3 milhões de hectares estão estruturados para o cultivo do arroz irrigado e destes, pouco mais de um milhão de hectares são cultivados anualmente com a cultura, caracterizando-a como o principal cultivo agrícola explorado nestas áreas (SILVA et al., 2008; MARCHESAN, 2013). O modelo tradicional de exploração estabelecido nestas áreas configura o cultivo do arroz no verão e a utilização da área durante o inverno com pecuária de corte extensiva ou deixada em pousio. Porém, esse sistema de exploração restrito caracteriza-se pelo baixo retorno econômico devido à subutilização das áreas. Além disso, a intensiva utilização do monocultivo do arroz tem ocasionado o aumento da incidência de doenças, pragas e, principalmente, plantas daninhas, reduzindo da capacidade produtiva dessas áreas (GOMES et al., 2002)

Impulsionado por estes fatores, observa-se a transição do modelo de exploração binomial tradicional nas áreas de cultivo do arroz para um sistema misto, através da rotação do arroz irrigado com culturas de sequeiro como a soja, o milho e o sorgo. A descrição dessa prática e os principais benefícios e melhorias proporcionadas serão apresentadas a seguir.

2.2 ROTAÇÃO DE CULTURAS EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

A rotação de culturas é caracterizada como uma prática que envolve o cultivo de duas ou mais espécies na mesma área num período maior que um ano. A implantação dessa prática em áreas de cultivo do arroz irrigado envolve a rotação da cultura do arroz com culturas de sequeiro como a soja, o milho e o sorgo (GOMES et al., 2002). Segundo Vernetti Jr. et al., (2009) a rotação de culturas em solos cultivados com arroz irrigado visa a melhorar o uso do solo e sua qualidade, otimizar o uso das máquinas e da mão-de-obra, diversificar a renda, romper ciclos de doenças e pragas, diminuir os níveis de infestação de plantas daninhas no solo, principalmente do arroz vermelho, e aumentar a rentabilidade da área. Além disso, essa prática caracteriza-se como uma alternativa que contribui para a busca da sustentabilidade do processo produtivo em áreas de arroz irrigado.

Vernetti Jr. et al., (2002), afirmam que a rotação de culturas apresenta, comprovadamente, grandes benefícios ao sistema produtivo do arroz. Além de mostrar-se como um método eficiente no controle do arroz vermelho (MARCHEZAN

et al., 1995) e diminuição do banco de sementes dessa espécie no solo (ANDRES et al., 2001), essa prática contribui para o incremento do rendimento de grãos do arroz irrigado cultivado em rotação (VERNETTI JR et al., 2002; VERNETTI JR et al., 2003; VERNETI JR et al., 2009).

Entre as espécies produtoras de grãos, o milho, o sorgo e a soja são as principais opções para a diversificação do sistema de produção, em rotação com o arroz irrigado (SILVA et al., 2004). Segundo Ferreira et al., (2008) o milho apresenta-se como uma opção válida para introdução na rotação com o arroz irrigado.

2.3 O CULTIVO DO MILHO EM ROTAÇÃO COM ARROZ IRRIGADO

No Rio Grande do Sul, na safra 2014/15 foram cultivados 941 mil hectares de milho, com produção total de 6,1 milhões de toneladas (CONAB, 2015). Praticamente toda a área cultivada com milho no estado localiza-se em terras altas, principalmente nos municípios da metade norte, havendo presentemente poucas lavouras em áreas de arroz irrigado. A introdução da cultura do milho em áreas de arroz no RS vem sendo estudada pela Embrapa Clima Temperado desde 1986 através de testes de performances de híbridos comerciais e publicações referentes ao manejo do solo, da área e da cultura para viabilizar seu cultivo nessas áreas (PARFITT, 2000; PORTO, 2000; PORTO; BRANCÃO, 2001; GOMES et al., 2002; PORTO et al., 2002; 2004; 2005; SILVA; PARFITT, 2002; SILVA et al., 2006; THEISEN et al., 2010). Além de já estarem disponíveis recomendações para o cultivo de milho em áreas de arroz irrigado (EMBRAPA, 2013b).

A rotação com o milho proporciona uma série de benefícios gerais ao sistema como a ciclagem de nutrientes, diminuição de riscos e estabilidade da atividade agrícola, melhor distribuição e uso de maquinário e mão de obra e diversificação de renda e produção. Além da produção de silagem ou grãos para alimentação animal em pequenas propriedades. Mais especificamente para as áreas de cultivo do arroz irrigado, o cultivo do milho em rotação com o arroz constitui-se de uma importante ferramenta para controle de uma das principais causas de redução da produtividade do arroz, que é a alta incidência de plantas daninhas, especialmente o arroz vermelho (SILVA; SHOENFELD, 2013).

Além de que, trabalhos evidenciam que a utilização do milho na rotação nessas áreas aumenta o rendimento de grãos de arroz (VERNETTI JR et al., 2009a)

e apresenta um maior índice de sustentabilidade (VERNETTI JR et al., 2009b), quando comparado à utilização de soja ou espécies de inverno.

Apesar dos benefícios da rotação com o milho, não está ocorrendo expansão da área de cultivo dessa espécie em áreas de arroz irrigado. Isso se deve a fatores econômicos como o elevado custo de produção dessa cultura e a grande oscilação dos preços de venda de grãos de milho, que diminuem sua competitividade em relação à utilização da soja (SILVA; SHOENFELD, 2013). E, principalmente, às limitações impostas ao crescimento e desenvolvimento da cultura pelos mais variados tipo de estresses que atuam nos ambientes onde se cultiva o arroz irrigado e podem comprometer seu potencial produtivo (THEISEN et al., 2010).

Embora, comprovadamente, a rotação com milho apresente grandes benefícios ao sistema produtivo do arroz, a sua utilização nessas áreas e em solos hidromórficos está limitada à necessidade de serem solucionadas algumas dificuldades naturais impostas pelo ambiente. O êxito no cultivo de milho em áreas de arroz depende, além dos fatores climáticos e de cultivo, do entendimento e adequação das exigências agronômicas ao desenvolvimento das plantas de milho e dos estresses ocorrentes nesse ambiente.

2.4 PRINCIPAIS ESTRESSES RELACIONADOS AO CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

Os solos e as áreas onde se cultiva o arroz irrigado apresentam, naturalmente, uma série de restrições que podem limitar o desempenho agronômico e o potencial produtivo do milho. Características físicas desses solos como a baixa condutibilidade hidráulica e o hidromorfismo, associados ao relevo predominantemente plano das áreas, confere a estas uma deficiente drenagem, e consequentemente, períodos de excesso de umidade no solo (SILVA; PARFITT, 2000). O excesso de umidade no solo é uma condição ambiental estressante ao desenvolvimento do milho (Ferreira et al., 2008).

Além disso, a baixa capacidade de armazenamento de água desses solos limita o desenvolvimento do milho devido à baixa disponibilidade de água no solo às plantas, que associada a fatores climáticos, pode proporcionar períodos de déficit hídrico, condição em que a cultura do milho é muito sensível (MORIZET; TOGOLA, 1984).

Em vista do exposto, a seguir serão descritos os principais tipos de estresse que ocorrem nesse ambiente e seus efeitos em aspectos de crescimento e desenvolvimento das plantas de milho.

2.4.1 Excesso hídrico

Em cultivo em solos em rotação com o arroz irrigado, culturas de sequeiro estão mais suscetíveis ao encharcamento do solo, devido aos atributos físicos dos solos hidromórficos associados à topografia geralmente plana dessas áreas, que conferem a esta uma drenagem deficiente.

Devido a essas características, inundações e submergência, são comuns em solos de várzea, e levam à redução de trocas gasosas entre o tecido da planta e a atmosfera. Nessas condições, o oxigênio é difundido dez mil vezes mais lentamente em água do que no ar (ARMSTRONG, 1979). O desequilíbrio entre a lenta difusão do oxigênio e a velocidade com que o mesmo é consumido por micro-organismos e raízes torna o solo inundado desprovido de oxigênio nas camadas superiores, ficando os tecidos das raízes deficientes de oxigênio em poucas horas (VISSER et al., 2003). O desenvolvimento e a produção da maioria das espécies vegetais cultivadas são prejudicados em solos mal drenados devido à falta de oxigênio livre no solo às raízes (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997). A submeregência das raízes do milho por mais de um dia pode restringir o potencial produtivo da cultura (GHILDYAL; SINGH, 1972; SINGH; GHILDYAL, 1980).

A extensão de danos decorrentes do encharcamento do solo nas plantas de milho depende de vários fatores, incluindo a duração do período de saturação, o estágio de desenvolvimento da planta e as condições ambientais no momento do estresse (SHAH et al., 2011). O milho caracteriza-se como uma cultura muito suscetível ao excesso hídrico no solo em todas as suas fases de desenvolvimento (MUKHTER et al., 1990). Zaidi et al. (2007) observaram que em condições de excesso de umidade no solo houve uma grande mortalidade das plantas de milho, além de crescimento atrofiado, reduzida área foliar e produção de biomassa em todos os estádios fisiológicos estudados.

Porém, os danos causados pelo excesso hídrico são mais evidenciados quando este ocorre durante o período vegetativo da cultura (LONE; WARSI, 2009). Estresses decorrentes ao excesso hídrico neste estádio resultam em severas

reduções no crescimento e desenvolvimento das plantas de milho (PAILWAL; LAL, 1976) e no seu rendimento de grãos (LONE; WARSI, 2009), causando prejuízos irrecuperáveis para o potencial produtivo da cultura.

2.4.2 Déficit hídrico

De acordo com Matzenauer et al., (2002), no Estado do Rio Grande do Sul o milho necessita de 412 a 648 mm de água durante seu ciclo, dependendo da região, caracterizando, assim, a cultura como de alta exigência hídrica. Além disso, a cultura do milho é conhecida pela sua alta sensibilidade ao estresse por déficit hídrico (WELCKER et al., 2007).

A disponibilidade de água desempenha papel preponderante nos processos fisiológicos da planta e no acúmulo de matéria seca vegetal (BERGONCI et al., 2001). O acúmulo de matéria seca é resultado do mecanismo fotossintético, o qual incorpora matéria orgânica na planta. Assim sendo, todo e qualquer fator que interfira na fotossíntese irá afetar o acúmulo de matéria seca. Fatores como nutrição mineral, radiação e disponibilidade hídrica, interferem significativamente na fotossíntese. A importância da disponibilidade de água para a fotossíntese está relacionada ao resfriamento do vegetal e à entrada de CO_2 para os processos metabólicos da planta, interferindo na taxa fotossintética e de respiração.

As respostas fisiológicas da planta de milho ao déficit hídrico variam de acordo com a severidade e a duração da imposição do estresse, o estádio fenológico de desenvolvimento e o material genético (SHAO et al., 2008). A deficiência hídrica causa danos à cultura ao longo de todo o seu ciclo, porém, alguns períodos de desenvolvimento são considerados críticos ao déficit, onde os danos são mais evidenciados. Segundo Bergamaschi et al., (2006), o período entre o pendoamento e o espigamento do milho, localizados entre os estádios V15 e R2 da escala de Ritchie et al., (1993), é o mais sensível à deficiência hídrica. Déficits hídricos ocorridos durante o período de florescimento, compreendido entre os estádios citados anteriormente, acarretam no aumento do intervalo entre o florescimento masculino e feminino, que é negativamente correlacionado com a produção de grãos (DUVICK, 2005).

Segundo Sangoi et al., (2010), quando o déficit ocorre no espigamento da cultura, causa defasagem entre a liberação de pólen e a emissão de estigmas,

reduzindo o número de grãos por espiga e consequentemente o rendimento de grãos do milho. Apesar dos danos, durante o período crítico, mostrarem-se mais expressivos, quando ocorre deficiência hídrica no período vegetativo o índice de área foliar e o acúmulo de matéria seca na parte aérea também são afetados negativamente (FRANÇA et al., 1999).

A ocorrência desse estresse, e seus consequentes efeitos negativos no rendimento de grãos da cultura, estão diretamente relacionados às variações da precipitação pluvial durante os meses de verão no Rio Grande do Sul (BERGONCI et al., 2001), período em que se cultiva o milho. De acordo com Matzenauer et al., (2002), na Depressão Central do RS, a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos meses de cultivo do milho é de 60%. Por esse motivo, a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial têm sido os principais condicionantes do rendimento de grãos de milho obtido no sul do Brasil (FORSTHOFER et al., 2006).

2.5 ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA A SUPRESSÃO DE ESTRESSES NO CULTIVO DO MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

Para garantir a estabilidade produtiva do milho em áreas de arroz irrigado, a adequação das áreas de cultivo juntamente com a adoção de práticas de manejo que possibilitem a supressão dos estresses supracitados são medidas de extrema importância. Dentre as alternativas de manejo que podem ser utilizadas para atingir esse objetivo, destacam-se a utilização do sistema de implantação em camalhões e a adoção de um de sistema de irrigação.

2.5.1 Sistema de implantação em camalhões

Para a introdução do milho em áreas de rotação com arroz irrigado, é necessário o estabelecimento de um adequado sistema de drenagem, para que o excesso de água das precipitações possa ser removido do solo o mais rápido possível (PARFITT, 2000), levando-se em conta a alta sensibilidade do milho ao encharcamento temporário do solo (SILVA et al., 2001). Segundo Gomes et al., (2002) práticas como a correção das desuniformidades do microrrelevo por meio de sistemas de adequação da superfície do terreno são de extrema importância para melhorar a drenagem do solo e viabilizar esse cultivo nas áreas de arroz. Dentre

estes sistemas estão o aplainamento do solo, a sistematização do terreno e o cultivo em camalhões (SILVA et al., 2006).

Em torno de 200 mil hectares estão sistematizados sem gradiente de declividade do terreno ou cota zero nas áreas de arroz irrigado do Rio Grande do Sul (OLIVEIRA, 2006). A sistematização do terreno, com sistema de drenagem superficial por meio da utilização de uma rede de drenos internos na lavoura, apesar de facilitar a introdução das culturas de sequeiro nessas áreas, na maioria das vezes, não é suficiente para retirar o excesso de água das áreas muito planas (SILVA et al., 2008).

Já a utilização do sistema de cultivo em camalhões tem a característica de melhorar o processo de drenagem das áreas de arroz, pois permite o escoamento de água através dos sulcos formados nas entrelinhas de cultivo (SILVA et al., 2008; RAM et al., 2013). Theisen et al., (2010), observaram que mesmo em períodos de precipitações frequentes houve rápido escoamento da água dos talhões, não ocorrendo perdas de plantas de milho devido ao encharcamento do solo, o que pode ocorrer em áreas com drenagem deficiente.

Além de proporcionar melhorias na drenagem das áreas (SILVA et al., 2006; THEISEM et al., 2010; FIORIN et al., 2009) o sistema de cultivo em camalhões também pode melhorar características físicas do solo (SARTORI et al., 2015; GIACOMELI, 2015; CHOUDHARY et al., 2013), reduzir a mortalidade de plântulas durante o período de germinação e emergência e aumentar o eficiência de uso da água pelas plantas (ZHANG et al., 2012; RODRIGUES et al., 2013).

O sistema de implantação em camalhões é indicado para solos planos, com declividades uniformes, requerendo, geralmente, a sistematização do terreno. Esse sistema é caracterizado pela estruturação da lavoura em sulcos e camalhões com reduzido espaçamento entre os mesmos, numa média de um metro (SILVA et al., 2006). Além do benefício da drenagem, a estruturação da lavoura com o sistema sulco/camalhão permite a irrigação da cultura durante períodos de déficit hídrico, evitando perdas de produtividade (JAT et al., 2011).

2.5.2 Irrigação

Devido às restrições como a baixa capacidade de armazenamento de água no solo e a irregularidade das precipitações durante o verão no estado do Rio

Grande do Sul, a máxima expressão do potencial produtivo do milho em áreas de arroz é, geralmente, limitado ao uso da irrigação complementar (SILVA; PARFIT, 2000).

De acordo com Forsthofer et al., (2006) a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial têm sido os principais condicionantes do rendimento de grãos de milho obtido no sul do Brasil. Essa oscilação na produção de grãos do milho se deve, principalmente, aos déficits hídricos ocorrentes nas lavouras não irrigadas em anos com precipitações insuficientes aliadas à alta demanda evaporativa da atmosfera durante o período de cultivo do milho (BERGONCI et al., 2001). Pois, a ocorrência de deficiência hídrica, comprovadamente, restringe a produtividade de grãos da cultura do milho (SANGOI et al., 2010).

Em áreas de arroz irrigado, resultados de pesquisa evidenciam a resposta positiva do milho com a utilização da irrigação (PORTO et al., 1999; PARFIT, 2000; SILVA; PARFIT, 2002; SILVA et al., 2006; ALBERTI et al., 2013).

De acordo com Silva e Parfitt, (2005) vários métodos de irrigação para cultivos extensivos, tais como a aspersão, sulcos e faixas (inundação), podem ser utilizados em lavouras com espécies em rotação com o arroz. Porém a escolha do método de irrigação deve considerar o tamanho da área cultivada, o custo do equipamento e a sua praticidade de manejo (MATZENAUER et al., 2002; BERGAMASCHI et al., 2004). Segundo Bernardo et al. (2006), algumas características das áreas de arroz irrigado como a superfície mais plana e uniforme, sua posição quanto à fonte de água e a textura e estrutura desses solos, facilitam a implantação e utilização de métodos de irrigação por superfície, que compreendem a irrigação por sulcos e a irrigação por faixas.

Além de que, os sistemas de irrigação por superfície, em geral, são os de menor custo inicial e de operação para essas áreas, por utilizar o mesmo sistema de condução de água utilizado para a irrigação do arroz, e apresentar menor, ou nenhum gasto com energia, comparado aos sistemas de irrigação pressurizados.

2.5.2.1 Sistemas de irrigação por superfície

Nos sistemas de irrigação por superfície a água é conduzida por gravidade diretamente sobre a superfície do solo até o ponto de aplicação, exigindo, portanto,

áreas sistematizadas e com declividades próximas a 0%, de acordo com o tipo de irrigação (BERNARDO et al., 2006).

Os métodos de irrigação por superfície utilizados para o cultivo de milho em áreas de arroz compreendem a irrigação por faixas e a irrigação por sulcos.

O sistemas de irrigação por faixas consiste na aplicação da lâmina de água desejada ao solo por meio de faixas de terreno compreendidas entre taipas. Nesse sistema, a água é aplicada de forma intermitente, durante o tempo necessário para que haja infiltração da lâmina desejada ao solo, retirando-a imediatamente após o tempo de infiltração de forma que o solo não permaneça saturado por períodos prolongados. Para a execução dos pressupostos supracitados é recomendável que sejam utilizadas entradas de água independentes por quadro, com o uso de canais auxiliares, e que os quadros possuam tamanhos adequados, que possibilitem a irrigação no menor tempo possível (PARFITT, 2002; SILVA; PARFITT, 2005; BERNARDO et al., 2006).

Esse sistema de irrigação tem como vantagens ser compatível com o sistema de produção do arroz irrigado, pois utiliza a estrutura já instalada para a irrigação do arroz, não necessitando de investimentos iniciais, ter a possibilidade de ser realizada tanto em terrenos sistematizados como não sistematizados, além de contar com a experiência do produtor, adquirida com a cultura do arroz (SILVA; PARFITT, 2000).

A utilização do sistema de irrigação por faixas vem sendo reportada na literatura como compatível com o cultivo de milho em áreas de arroz irrigado (PARFITT, 2000; GOMES et al., 2002; SILVA; PARFITT, 2002; 2005), além de resultados que mostram aumento na produtividade do milho quando irrigado por esse método (PORTO et al., 1999; SILVA; PARFITT, 2002; SILVA et al., 2006).

Já no sistema de irrigação por sulcos, a lâmina de água aplicada ao solo é conduzida através de pequenos canais ou sulcos, situados paralelamente às fileiras das plantas, durante o tempo necessário para que a água, infiltrada ao longo do sulco, seja suficiente para umedecer o solo na zona radicular da cultura. Em áreas de arroz irrigado esse sistema pode ser combinado com o sistema de cultivo em camalhões, sendo eficiente para irrigar e para melhorar substancialmente a drenagem da área (SILVA; PARFITT, 2000; BERNARDO et al., 2006).

Esse sistema é indicado para solos planos, com declividade uniforme, requerendo, geralmente, a sistematização do terreno, que pode ser realizada em nível ou em declive não superior a 0,5%. A largura dos camalhões e sulcos é

determinada em função do espaçamento utilizado para a cultura, declividade do terreno, tipo de solo e vazão de água disponível, com a largura de camalhões variando, geralmente, entre 0,7 a 1,80 metros. Para a confecção dos sulcos e camalhões, podem ser utilizados sulcadores tipo “pé-de-pato”, camalhoeiras de disco ou encanteiradoras equipadas com enxada rotativa ou com discos e formatador de canteiros (SILVA; PARFITT, 2004; SILVA et al., 2006; 2008).

Como principal vantagem, em relação ao sistema de irrigação por faixas, o sistema sulco/camalhão apresenta a capacidade de melhorar a drenagem da área de cultivo. Tendo em vista que, a rede de sulcos formados entre os camalhões funcionam como drenos, favorecendo o escoamento do excesso de água das precipitações e das irrigações, além de que, no sistema sulco/camalhão não ocorre o molhamento total do solo, proporcionando menores períodos de encharcamento no solo, e menor tempo de exposição das plantas à esse estresse (SILVA; PARFITT, 2000; THEISEN et al., 2010).

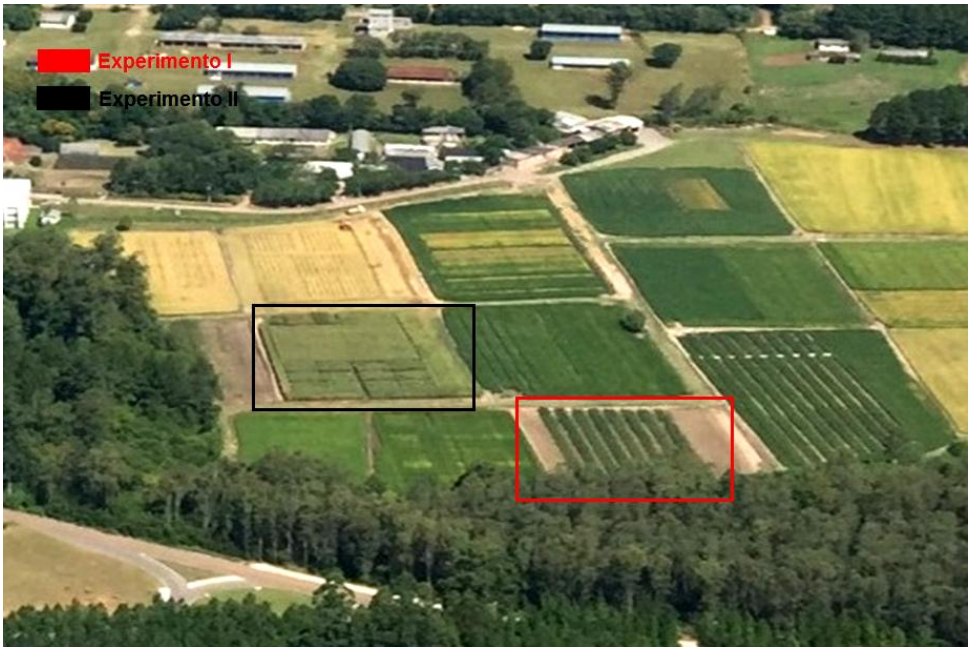
Resultados de pesquisa obtidos através da utilização de camalhões e irrigação por sulcos em milho cultivado em áreas de arroz tem apontado a resposta positiva da cultura quanto a utilização desse sistema (SILVA et al., 2006; MAASS et al., 2013; 2015; RODRIGUES et al., 2013). Também, a implantação desse sistema vem sendo reportada como compatível e vantajosa para o cultivo de milho nesse ambiente (SILVA; PARFITT, 2000; 2002; 2004; SILVA et al., 2006; 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Durante a safra 2014/15 foram conduzidos dois experimentos em área experimental sistematizada de arroz irrigado pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (Figura 1). A área experimental localiza-se na região fisiográfica da Depressão Central, na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul - RS, sob as coordenadas geográficas 29° 71’ 95,24” de latitude Sul e 53° 72’ 35,21” de longitude Oeste, a uma altitude média de 90 metros em relação ao nível do mar.

Figura 1 – Imagem aérea da área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, com destaque para a localização dos experimentos I e II. Santa Maria, RS, 2016



Fonte: Acervo pessoal.

O clima da região é caracterizado, segundo a classificação de Koppen, como subtropical úmido (Cfa), sem estação seca, com temperatura média do mês mais quente superior a 22ºC e precipitação média anual de 1.616 mm (ALVARES et al., 2013).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013a), o solo da área experimental é classificado como Planossolo Haplico eutrófico arênico pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

3.2.1 Experimento I – Influência do uso de camalhões e irrigação por superfície no cultivo de milho em áreas de arroz irrigado

Para a realização do experimento I, foi utilizada área sistematizada de 0,38 hectares (Figura 1), na qual, na safra anterior 2013/14, foi cultivado arroz irrigado. Para a implantação do experimento, o preparo do solo foi realizado de maneira convencional, durante os meses de agosto e setembro de 2014, com auxílio de grade de discos e posterior nivelamento do solo, obtendo-se uma declividade média de 0,04%.

Tabela 1 – Distribuição do tamanho de partículas de solo (g kg^{-1}) e densidade do solo (Ds) (kg m^{-3}) nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m. Santa Maria, RS, 2016

Parâmetro	Camada (m)		Média camada
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,2 (m)
Areia (g kg^{-1})	210	210	210
Silte (g kg^{-1})	540	520	530
Argila (g kg^{-1})	210	280	245
Ds[1] (kg m^{-3})	1,33	1,55	1,44

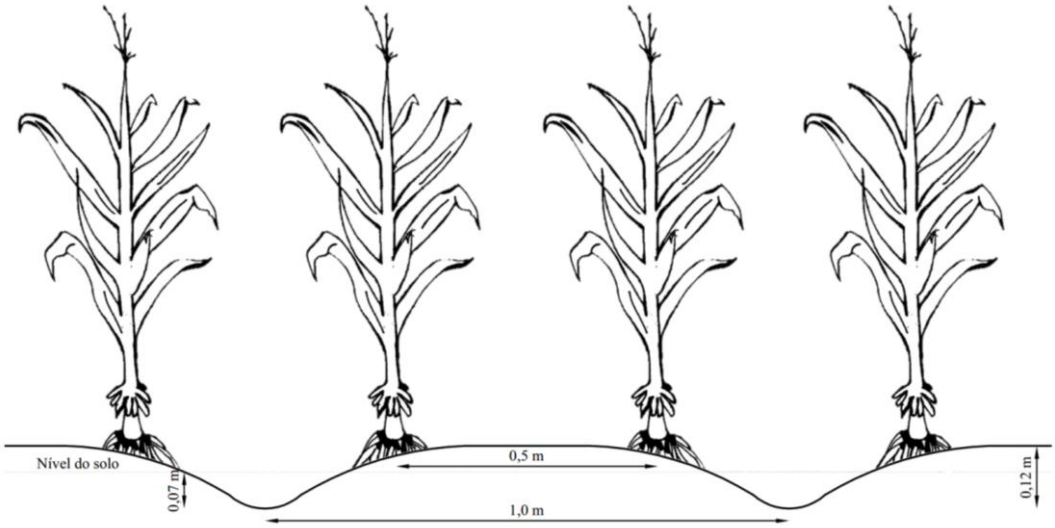
[1]Densidade média do solo na entrelinha de cultivo para os sistemas em cada camada amostrada.

As principais características químicas do solo, na camada 0,0-0,2 m, foram: 5,6 de pH (H2O 1:1), 83,2% de saturação por bases, 0,0 cmolc dm^{-3} de Al, 11,3 cmolc dm^{-3} de Ca, 5,9 cmolc dm^{-3} de Mg, 48,0 mg dm^{-3} de K, 7,8 mg dm^{-3} de P-Mehlich, 14,6 mg dm^{-3} de S, 21,0 mg dm^{-3} de MO. As características físicas do solo, distribuição de partículas e densidade do solo, para as camadas de 0-0,10 e 0-0,20m estão apresentadas na Tabela 1. A densidade do solo, nestas camadas, foi determinada após a implantação dos sistemas e a emergência da cultura na

entrelinha de cultivo seguindo-se procedimentos para a coleta e análise de amostras de solo (EMBRAPA, 2011).

O experimento constituiu-se de um arranjo fatorial, conduzido em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Para o fator A, os níveis foram compostos pelos sistemas de implantação: A1= com camalhão; A2= sem camalhão; e os níveis do fator D compostos por: D1= com irrigação; D2= sem irrigação. As unidades experimentais possuíram dimensões de 45 m de comprimento e 3 m de largura, totalizando 135 m^2. Para o sistema de implantação com camalhão, a construção dos camalhões foi realizada concomitantemente à semeadura com auxílio da semeadora-adubadora camalhoneira (marca KF, modelo híper plus 6/5 A), com haste sulcadora para deposição da adubação, composta por mecanismo de aivecas responsáveis pela formação dos camalhões. Cada camalhão comportou o cultivo de duas linhas de milho, espaçadas as 0,5 m de largura, posicionadas na borda de cada elevação (Figura 2). Os camalhões possuíam altura média de 0,12 m e espaçamento entre cristas de um metro de largura. Já para o sistema sem camalhão, utilizou-se a mesma semeadora em condições similares de operação, porém, sem o mecanismo de aivecas.

Figura 2 – Representação esquemática dos camalhões em corte perpendicular às linhas de semeadura. Santa Maria, RS, 2016



Fonte: Giacomeli, (2015).

A semeadura do experimento foi realizada no dia 16 de novembro de 2014. Porém, devido à ocorrência de elevadas precipitações associadas à drenagem

deficiente da área durante a emergência e período vegetativo inicial da cultura do milho, as plantas apresentaram sintomas de estresse, com baixo crescimento, desenvolvimento e amarelecimento das folhas, nova semeadura foi realizada no dia 23 de janeiro de 2015 no mesmo local. Para realização da nova semeadura, foi efetuada a dessecação da área com herbicida graminicida do grupo químico oxima ciclohexanodiona (POQUER®, 0,45 L p.c. ha-1). Posteriormente a dessecação, a área foi roçada com o auxílio de roçadeira manual.

Para a nova semeadura utilizou-se a semeadora-adubadora (marca Massey Ferguson, modelo MF 307), equipada com mecanismo de disco turbo de 25 ondas para deposição do fertilizante. Para o sistema de implantação com camalhão, a semeadura foi realizada sobre os camalhões previamente confeccionados na primeira semeadura. Foram utilizadas sementes do milho híbrido simples Agroceres 9045 PRO_2, de ciclo superprecoce. A fim de estabelecer uma população de 60.000 plantas ha^{-1}, realizou-se raleio manual de plantas, aos 12 DAE, entre os estádios V2 e V3 de desenvolvimento da cultura, conforme escala de Ritchie et al. (1993).

A adubação de base foi constituída por 20 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 140 kg ha^{-1} de fósforo (P_2O_5) e 60 kg ha^{-1} de potássio (K_2O) na primeira semeadura. Na segunda semeadura, aplicou-se 40% dessa adubação. A recomendação de adubação utilizada foi para expectativa de produtividade de 10.000 kg ha^{-1} conforme as indicações técnicas para cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2013b). Em cobertura, aplicou-se o total de 240kg ha^{-1} de N, na forma de ureia, parcelado nos estádios vegetativos V2, V4, V6 e V8, onde, em cada estádio aplicou-se 60kg ha^{-1} de N. As datas das aplicações foram 02/02, 13/02, 23/02, e 06/03/2015, respectivamente. Os demais tratos culturais foram efetuados seguindo-se as recomendações técnicas para a cultura (EMBRAPA, 2013b).

A fim de caracterizar a área, foi determinada a curva de retenção de água no solo para as camadas de 0,0-0,1 e 0,0-0,2 m pelo método da câmara de pressão de Richards. A partir da curva de retenção de água no solo foram obtidos os valores de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) para as camadas de 0,0-0,1 e 0,0-0,2 m, apresentados na Tabela 2. Para o cálculo do conteúdo de água disponível às plantas (CAD), considerou-se o intervalo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) nas referidas camadas.

Tabela 2 – Capacidade de campo (CC) (m^3 m^{-3}), ponto de murcha permanente (PMP) (m^3 m^{-3}), e conteúdo de água disponível (CAD) (mm) nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m. Santa Maria, RS, 2016

Parâmetro	Camada (m)	
	0,0-0,1	0,1-0,2
CC[1] (m^3 m^{-3})	0,36	0,33
PMP[1] (m^3 m^{-3})	0,12	0,13
CAD[2] (mm)	24	20

[1]Valores obtidos a partir da curva de retenção de água no solo.
[2]Conteúdo de água disponível no solo considerando-se o intervalo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP).

Os valores encontrados para a capacidade de campo para as camadas 0,0-0,1 e 0,0-0,2 m (Tabela 2), foram utilizados como limite superior de disponibilidade de água no solo. Como critério de reposição de lâmina de irrigação, adotou-se como referência o limite médio de umidade do solo das camadas 0,0-0,1 e 0,0-0,2 m de 60% do limite superior de disponibilidade de água no solo, ou seja, quando o solo da área apresentou umidade média igual ou inferior a 0,207 m^3 m^{-3} (umidade referente a 60% do limite superior) para a média das duas referidas camadas, foi realizada irrigação.

A necessidade de irrigação foi determinada através do monitoramento do conteúdo de água no solo da área pelo método das pesagens, seguindo-se procedimento para coleta e análise das amostras de solo (EMBRAPA, 2011). A lâmina de irrigação a ser reposta nos sistemas foi calculada com base na diferença de umidade média do solo nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m no dia anterior a realização do evento e a necessidade de água para atingir o limite superior novamente.

Para o sistema de implantação com camalhão a irrigação foi realizada por intermédio dos sulcos formados na semeadura concomitantemente a realização dos camalhões. Já para o sistema sem camalhão, foi realizada irrigação na forma de faixas, construindo-se taipas entre os tratamentos para evitar o movimento de água para as parcelas adjacentes e facilitar sua condução até o final da parcela durante as irrigações.

A distribuição de água nas parcelas irrigadas foi efetuada por intermédio de mangueira plástica de 54 polegadas de diâmetro e espessura do material de 2,54

micrômetros equipada com um conjunto de comportas ajustáveis (marca Delta Plastics of South, modelo RGB40), adotando-se uma vazão média de 1l s^{-1} por comporta. O volume de água utilizado em cada parcela irrigada foi quantificado através de leituras realizadas no início e no final da irrigação em um hidrômetro de 100 polegadas de diâmetro acoplado na entrada da mangueira plástica. A vazão foi obtida através da razão entre o volume de água aplicado e o tempo de irrigação em cada parcela. Durante as irrigações, após o término da fase de avanço, manteve-se a água no interior das parcelas por 30 minutos. Na sequência, drenaram-se as parcelas quantificando-se o volume de água excedente com auxílio de uma calha de fundo plano, previamente calibrada, instalada na porção final da parcela.

Aos 49 DAE, estádio VT de desenvolvimento da cultura, foram coletadas cinco plantas em sequência na segunda linha de cada unidade experimental e avaliadas as características de crescimento: altura de plantas, diâmetro do colmo, massa seca da parte aérea (MS) e área foliar, estimando-se o índice de área foliar (IAF). A altura de plantas foi determinada medindo-se a distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha. Para a determinação do diâmetro do colmo, avaliou-se a região central do segundo internódio a partir do colo da planta (TEIXEIRA; COSTA, 2010), através do uso de um paquímetro digital. Determinou-se a área foliar medindo-se o comprimento (C) e a largura (L) de todas as folhas com mais 50% de sua área verde. A área foliar de cada folha foi obtida através da equação: A = C x L x 0,75, também utilizada por Sangoi et al. (2007). A área foliar total de cada planta foi obtida através do somatório de todas as folhas da planta. O índice de área foliar (IAF) foi determinado utilizando a expressão: IAF = área foliar x n° plantas m^{-2}. Para a determinação da MS as cinco plantas coletadas em cada unidade experimental foram identificadas e levadas à estufa a 65ºC para secagem até massa constante (RAIJ, 1997). Após esse período, a massa seca foi determinada através de pesagem em balança de precisão.

Ao final do ciclo da cultura, no dia 03/07/2015 foram colhidos 5 m^2 de cada unidade experimental e determinados os componentes de rendimento: número de espigas por planta, comprimento de espigas, número de grãos por espiga, massa de mil grãos; e o rendimento de grãos. O número de espigas por planta foi obtido através da razão entre o número de espigas colhidas e o número de plantas contadas em 5m^2. O comprimento e diâmetro de espigas foram determinados com a utilização de uma régua e um paquímetro digital. O número de grãos por espiga foi

obtido através da multiplicação entre o número médio de fileiras por espiga e de grãos por fileira. A massa de mil grãos foi obtida através da contagem e pesagem de oito repetições de cem grãos após a debulha das espigas de cada unidade experimental, corrigindo-se a umidade para 13%. O rendimento de grãos foi determinado através da debulha de todas as espigas colhidas nos $5m^2$ de cada unidade experimental, e posterior pesagem dos grãos, corrigindo-se a umidade para 13%.

A eficiência do uso da água (EUA) foi determinada através da razão entre o rendimento de grãos e o volume de água total aplicado à cultura ao longo do ciclo (precipitações e irrigação), nos tratamentos irrigados. A eficiência da irrigação foi calculada de acordo com a equação (GORDON et al., 1995): EI = (RI - RNI)/I, sendo EI a eficiência da irrigação (kg ha^{-1} mm^{-1}), RI e RNI o rendimento de grãos dos tratamentos irrigado e não irrigado respectivamente (kg ha^{-1}), e I, a quantidade de água aplicada nas irrigações (mm).

3.2.2 Experimento II – Resposta do milho cultivado em camalhões à irrigação por sulcos em áreas de arroz irrigado

O experimento II foi implantado em área sistematizada de 0,45 hectares (Figura 1). O preparo do solo da área para realização do experimento foi realizado de maneira convencional durante os meses de agosto e setembro de 2014, com auxílio de grade de discos e posterior nivelamento do solo.

As principais características químicas do solo, na camada 0,0-0,20 m, foram: 5,6 de pH (H2O 1:1), 80% de saturação por bases, 0,0 cmolc dm^{-3} de Al, 11,3 cmolc dm^{-3} de Ca, 5,9 cmolc dm^{-3} de Mg, 48,0 mg dm^{-3} de K, 7,6 mg dm^{-3} de P-Mehlich, 14,6 mg dm^{-3} de S, 20,0 mg dm^{-3} de MO. As características físicas do solo, distribuição de partículas e densidade do solo, para as camadas de 0,0-0,1 e 0,0-0,2 m estão apresentadas na Tabela 3. A densidade do solo, nestas camadas, foi determinada após a implantação dos sistemas e a emergência da cultura na entrelinha de cultivo seguindo-se procedimentos para a coleta e análise de amostras de solo (EMBRAPA, 2011).

Tabela 3 – Distribuição do tamanho de partículas de solo (g kg-^{1}) e densidade do solo (Ds) (kg m-^{3}) nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m. Santa Maria, RS, 2016

Parâmetro	Camada (m)		Média camada
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,2 (m)
Areia (g kg^{-1})	224	230	227
Silte (g kg^{-1})	595	596	595,5
Argila (g kg^{-1})	180	191	185,5
Ds[1] (kg m^{-3})	1,34	1,41	1,37

[1]Densidade média do solo na entrelinha de cultivo para os sistemas em cada camada amostrada.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com dois tratamentos: T1 = Irrigação por sulcos; T2 = Testemunha (sem irrigação), ambos sobre camalhões, com quatro repetições. As unidades experimentais possuíram dimensões de 45m de comprimento e 6 m de largura, totalizando 270 m^{2} cada.

A semeadura do milho foi realizada em 16 de novembro de 2014, utilizando-se a semeadora-adubadora camalhoneira KF Hyper Plus 6/5 que confeccionou os camalhões e sulcos de irrigação no momento da semeadura. Cada camalhão comportou o cultivo de duas linhas de milho, espaçadas as 0,5 m de largura, posicionadas na borda de cada elevação (Figura 2). Os camalhões possuírem altura média de 0,12m e espaçamento entre cristas de um metro de largura. Foram utilizadas sementes do híbrido simples e superprecoce de milho Agroceres AG 9045 PRO2, com densidade de semeadura de 80.000 plantas por hectare.

A adubação aplicada na semeadura foi de 20, 140 e 60 kg ha-1 de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente. Em cobertura, aplicou-se um total de 225 kg ha^{-1} de N, parcelado nos estádios V4, V7 e V9, e 60 kg ha^{-1} de K_2O no estádio V7. Os demais tratos culturais, como controle de plantas daninhas, pragas e doenças, foram realizados conforme recomendações técnicas para cultura (EMBRAPA, 2013b).

Os valores de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), determinados pela curva de retenção de água no solo para a camada de 0,0-0,2 m, e a capacidade de água disponível às plantas (CAD) estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Capacidade de campo (CC) (m^3 m^{-3}), ponto de murcha permanente (PMP) (m^3 m^{-3}), e conteúdo de água disponível (CAD) (mm) na camada de 0,0-0,2 m. Santa Maria, RS, 2016

Parâmetro	Camada
	0,0-0,2
CC[1] (m^3 m^{-3})	0,30
PMP[1] (m^3 m^{-3})	0,12
CAD[2] (mm)	36

[1]Valores obtidos a partir da curva de retenção de água no solo.
[2]Conteúdo de água disponível no solo considerando-se o intervalo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP).

A necessidade de irrigação e a lâmina aplicada foram determinadas através do monitoramento da umidade do solo, a uma profundidade de raiz de 0,2 m, pelo método das pesagens, seguindo-se procedimento para coleta e análise das amostras de solo (EMBRAPA, 2011), adotando-se como critério de reposição da lâmina de irrigação o limite inferior de 60% da capacidade de campo do solo, utilizada como limite superior. Ou seja, quando o conteúdo de água no solo foi inferior a 0,18 m^3 m^{-3} para a camada de 0,0-0,2 m foi realizada irrigação.

A distribuição de água nas parcelas irrigadas foi efetuada por intermédio de um sulco principal localizado transversalmente aos sulcos das parcelas. A entrada de água realizou-se por intermédio de canos acoplados de 100 mm, que distribuíram a água em uma parcela de cada vez, adotando-se uma vazão média de 1 l s^{-1} por sulco. O volume de água utilizado em cada parcela irrigada foi quantificado através de leituras realizadas no início e no final da irrigação em um hidrômetro de 100 polegadas de diâmetro acoplado na entrada do cano. A vazão foi obtida através da razão entre o volume de água aplicado e o tempo de irrigação em cada parcela. Durante as irrigações, após o término da fase de avanço, manteve-se a água no interior das parcelas por 30 minutos. Na sequência, drenaram-se as parcelas quantificando-se o volume de água excedente com auxílio de uma calha de fundo plano, previamente calibrada, instalada na porção final da parcela.

Ao final do ciclo da cultura, utilizando-se a mesma metodologia descrita para o experimento I, foram avaliadas as características de crescimento e desenvolvimento: estatura de plantas, diâmetro do colmo, altura de inserção da espiga; os componentes de rendimento: número de espigas por planta, número de

grãos por espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos, avaliado em uma área útil de 6 m^2 e expresso na umidade de 13 g kg^{-1};

A eficiência do uso da água (EUA) foi determinada para o tratamento irrigado através da razão entre o rendimento de grãos e o volume de água total aplicado na cultura ao longo do ciclo (precipitações e irrigações).

3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

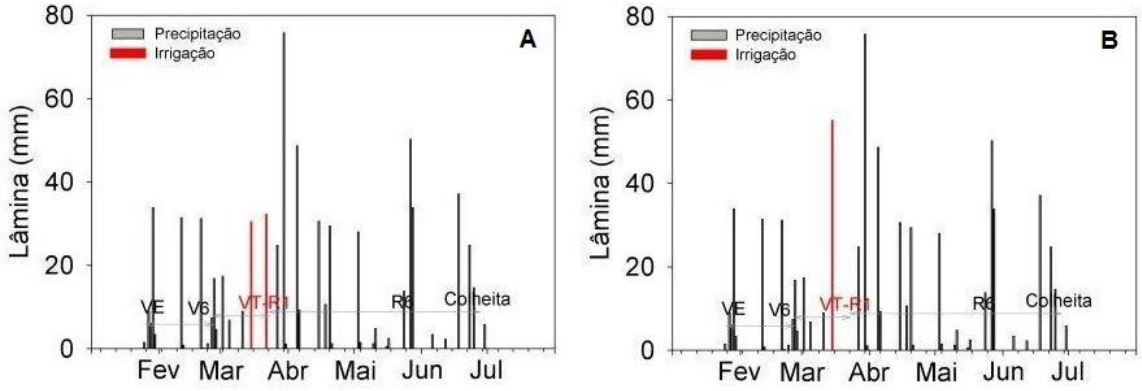
Os dados obtidos nos dois experimentos foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias). A análise da variância foi realizada através do teste F e as médias comparadas pelo teste “t” em nível de 5 % de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO I – INFLUÊNCIA DO USO DE CAMALHÕES E IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE NO CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

Durante os meses de cultivo do milho a precipitação total acumulada foi de 636,6 mm. De acordo com Matzenauer et al. (2002), no estado do Rio Grande do Sul o milho necessita de 412 a 648 mm durante seu ciclo de cultivo. Porém, a distribuição das precipitações não foi regular para todo o período de cultivo (Figura 3). Durante as fases de emergência e desenvolvimento vegetativo do milho ocorreram precipitações frequentes e volumes elevados de precipitação. Já nas fases de pendoamento e florescimento da cultura, houve um período de estiagem de 15 dias, entre os dias 12 e 26 de março de 2015.

Figura 3 – Distribuição das precipitações e eventos de irrigação para os tratamentos com camalhão (A) e sem camalhão (B) durante o período de cultivo do milho em área de arroz na safra 2014/15. Santa Maria, RS, 2016

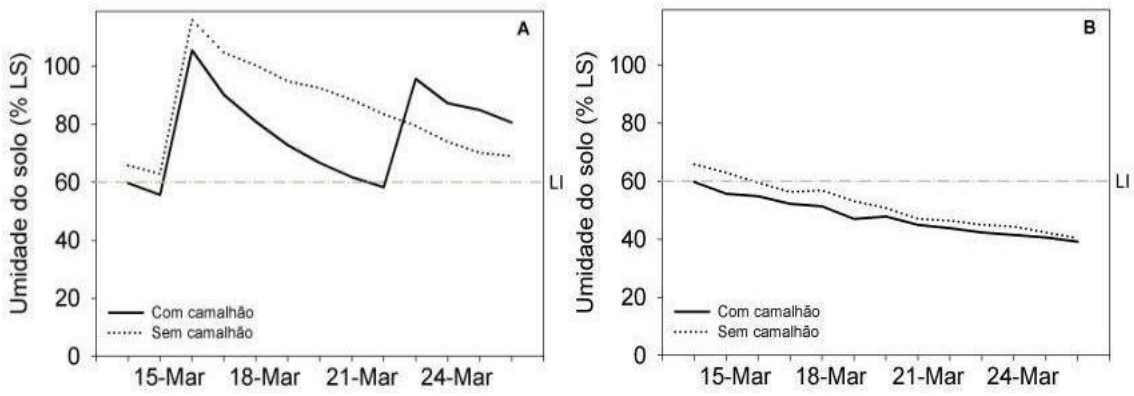


*Linhas na horizontal indicam os estádios fenológicos do milho: VE: emergência de plântulas; V6: 6 folhas completamente formadas; VT-R1: pendoamento e florescimento. R6: maturidade fisiológica.

Com base no monitoramento da umidade do solo, Figura 4, houve a necessidade de duas irrigações durante esse período. A primeira irrigação foi realizada para os dois sistemas de implantação, no dia 15/03, durante o estádio fisiológico VT (pendoamento) da cultura. Nessa data a umidade média do solo na camada 0,0-0,2 m encontrava-se em 55,6% e 62% do limite superior de disponibilidade de água no solo para os sistemas com camalhão e sem camalhão, respectivamente (Figura 4A). A segunda irrigação foi realizada no dia 22/03, durante

o estádio R1 (florescimento) da cultura, somente para o sistema com camalhão, levando-se em conta que o conteúdo de água no solo no sistema sem camalhão encontrava-se em 83% do limite superior de disponibilidade de água no solo, não atingindo o limite inferior de 60%. A umidade média do solo no sistema com camalhão, no dia 22/03, na camada 0,0-0,2 m encontrava-se em 58,2% do limite superior de disponibilidade de água no solo.

Figura 4 – Variação da umidade do solo na camada de 0,0-0,2 m para os tratamentos com camalhão e sem camalhão com irrigação (A) e com camalhão e sem camalhão sem irrigação (B), durante os eventos de irrigação do milho na safra 2014/15. Santa Maria, RS, 2016



*LI indica o conteúdo crítico de água no solo adotado como referência para a realização das irrigações.
*LS indica o limite superior disponibilidade de água no solo.

A lâmina média aplicada em cada irrigação para o tratamento com camalhão foi de 31,39 mm. Para o tratamento sem camalhão a lâmina média aplicada foi de 55,16 mm. As lâminas aplicadas nos tratamentos irrigados e o total de água que a cultura recebeu durante todo o ciclo podem ser observados na Tabela 5. Apesar de terem sido realizadas duas irrigações para o sistema com camalhão e apenas uma para o sistema sem camalhão, não houve diferença significativa entre as lâminas totais aplicadas nos diferentes sistemas e, consequentemente, no total de água que a cultura recebeu ao longo do ciclo de cultivo.

Tabela 5 – Lâmina de irrigação total aplicada (mm), precipitação acumulada durante o período (mm) e somatório do total de água aplicada à cultura do milho durante seu ciclo de desenvolvimento (Irrigação + Precipitação) (mm) para os diferentes sistemas de implantação. Santa Maria, RS, 2016

Sistema de Implantação	Água aplicada (mm)		
	Lâmina de irrigação total aplicada (mm)	Precipitação acumulada no período (mm)	Irrigação + Precipitação (mm)
Com camalhão	62,79^{ns}	636,6	699,39^{ns}
Sem camalhão	55,16	636,6	691,76
CV (%)[1]	21,6	-	1,86

^{ns} Não significativo de acordo a análise de variância a 5% de probabilidade de erro.
[1]Coeficiente de variação determinado pela análise de variância.

As características de crescimento da cultura do milho: altura de plantas, diâmetro do colmo, índice de área foliar (IAF) e massa seca da parte aérea (MS), não foram influenciadas pela irrigação (Tabela 6). Isto ocorreu, provavelmente, por tais características serem definidas durante os estádios vegetativos da cultura (MAGALHÃES et al., 2006), período em que todos os tratamentos avaliados no trabalho receberam a mesma quantidade de água, pois não houveram irrigações.

O sistema de implantação com camalhão proporcionou aumento nas características de crescimento da cultura do milho de: 16,4% na altura de plantas, 8% no diâmetro do colmo, 19% no índice de área foliar (IAF) e 25% na massa seca da parte aérea (MS); em relação ao sistema sem camalhão. Esse aumento pode estar relacionado à melhoria de características físicas do solo, sua fertilidade e, principalmente, da drenagem da área, proporcionados pelo cultivo em camalhão. Resultados encontrados por Sartori et al. (2015) e Giacomeli (2015) evidenciam a melhoria de características físicas do solo no sistema de implantação em camalhões para soja e milho, respectivamente. Porém, de acordo com Theisen et al. (2010) o efeito mais pronunciado da utilização de camalhões em área de arroz irrigado é o favorecimento da drenagem do terreno, pois, os sulcos formados entre os camalhões favorecem o escoamento do excesso de água das precipitações, possibilitando a implantação de culturas pouco adaptadas ao encharcamento temporário do solo nessas áreas.

Tabela 6 – Características agronômicas de crescimento do milho: altura de plantas (m), diâmetro do colmo (cm), índice de área foliar (IAF) e massa seca da parte aérea (g planta^{-1}); avaliadas no estádio VT (pendoamento) de desenvolvimento da cultura em função dos sistemas de implantação e da irrigação. Santa Maria, RS, 2016

Sistemas de Implantação	Irrigação		
	Com Irrigação	Sem Irrigação	Média Sistemas
		Altura de Plantas (m)	
Com Camalhão	1,71	1,70	1,71 a
Sem Camalhão	1,42	1,43	1,43 b
Média Irrigação	1,57^{ns}	1,57	
CV^{1} (%)		6,47	
		Diâmetro do Colmo (mm)	
Com Camalhão	22,71	22,60	22,66 a
Sem Camalhão	20,73	20,94	20,84 b
Média Irrigação	21,72^{ns}	21,77	
CV^{1} (%)		7,20	
		IAF	
Com Camalhão	3,94	3,9	3,92 a
Sem Camalhão	3,10	3,24	3,17 b
Média Irrigação	3,52^{ns}	3,57	
CV^{1} (%)		12,35	
		Massa Seca (g planta^{-1})	
Com Camalhão	103,90	116,35	110,12 a
Sem Camalhão	80,85	84,20	82,52 b
Média Irrigação	92,27^{ns}	100,27	
CV^{1} (%)		17,58	

*Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste “t” à 5% de probabilidade de erro.
^{ns} Não significativo de acordo com a análise de variância à 5% de probabilidade de erro.
^{1}Coeficiente de variação determinado pela análise de variância.

A ocorrência de volumes elevados e frequentes precipitações durante os estádios vegetativos do milho, associados às características do solo hidromórfico da área, como drenagem deficiente e baixa condutibilidade hidráulica, ocasionaram períodos de excesso hídrico no solo. O excesso de água no solo reduz a oxigenação na zona radicular das plantas de milho comprometendo seu crescimento, desenvolvimento e produção (ZAIDI et al., 2010). O aumento nas características de crescimento das plantas de milho no sistema com camalhão em relação àquelas cultivadas sem camalhão pode estar relacionado à menor influência do efeito negativo desse estresse, devido às melhorias de drenagem do solo nesse sistema que proporcionou menor tempo de exposição das plantas ao excesso hídrico.

A extensão dos danos causados pelo excesso hídrico na cultura do milho depende da sua duração, estádio de desenvolvimento da planta e condições do ambiente no momento do estresse (ZAIDI et al., 2007).

Segundo Lone e Warsi (2009), o milho é muito suscetível ao excesso de umidade no solo durante o estádio vegetativo. Estresses decorrentes ao excesso hídrico neste estágio resultam em severas reduções no crescimento e desenvolvimento das plantas de milho (PAILWAL; LAL, 1976). Resultados de pesquisa evidenciam redução na altura de plantas (MUKHTAR et al., 1990; SILVA et al.; 2006; ZAIDI et al., 2007), diâmetro do colmo (ALI et al., 1999), massa seca de parte aérea (MEYER et al., 1987; MUKHTAR et al., 1990; SHAH et al., 2011) e área foliar (ALI et al., 1999; MUKHTAR et al., 1990; PRASAD et al., 2007; FERREIRA et al., 2008; SHAH et al., 2011) em milho exposto a condições de excesso de umidade no solo durante o período vegetativo.

Fiorin et al. (2009), analisando o IAF em plantas cultivadas com e sem camalhão constatou que o índice de área foliar de plantas de milho aumentou com a utilização de camalhões em solos arrozeiros, independentemente da utilização de irrigação, resultado que corrobora com o encontrado no presente trabalho, onde houve um aumento de 19% no IAF das plantas cultivadas com camalhão em relação àquelas cultivadas sem camalhão. O mesmo autor, também observou o acréscimo de massa verde e massa seca para as plantas cultivadas em camalhão, resultado também observado nesse trabalho para massa seca de parte aérea em relação ao sistema sem camalhão.

Os componentes de rendimento do milho: número de espigas por planta, comprimento de espiga, número de grãos por espiga e massa de mil grãos; estão

apresentados na Tabela 7. O sistema de implantação com camalhão proporcionou aumento nas características: número de espigas por planta (18,4%), comprimento de espigas (12,3%) e número de grãos por espiga (10,7%), resultando em maior rendimento de grãos (Tabela 8) em relação ao sistema sem camalhão. Devido à redução da massa vegetativa (MS e IAF) nas plantas cultivadas sem camalhão, ocorreu, provavelmente, a diminuição da taxa fotossintética, pois a menor massa vegetativa possui menor capacidade fotossintética, afetando diretamente a produção de grãos (MAGALHÃES; DURÕES, 2010). Fancelli e Dourado Neto (2000) citam que o rendimento de grãos e o número de grãos aumentam, significativamente, com os incrementos do IAF, resultado também observado no trabalho.

O provável efeito do excesso de água no solo durante o período vegetativo da cultura, mais pronunciado para o tratamento sem camalhão, também pode ter contribuído para a redução desses componentes de rendimento. Resultados encontrados por Shah et al., (2011) evidenciaram que o excesso hídrico ocorrido durante o período vegetativo da cultura influencia na redução dos componentes de rendimento do milho.

A utilização da irrigação resultou em aumento de 6% no comprimento de espigas e 4% no número de grãos por espiga para os dois sistemas de implantação estudados no trabalho (Tabela 7). As irrigações coincidiram com o período crítico do milho à deficiência hídrica, durante as fases de pendoamento e florescimento. Dessa forma, os tratamentos sem irrigação sofreram déficit hídrico nesse período. Segundo Bergamaschi et al. (2004) o número de grãos por espiga é um dos componentes mais afetados pelo déficit hídrico, quando este ocorre no pendoamento, devido a perda do sincronismo pendão-espiga e possível dessecação dos grãos de pólen. A perda do sincronismo entre a emissão dos grãos de pólen e a receptibilidade dos estilos-estigmas da espiga ocasiona o aumento da porcentagem de espigas sem grãos nas extremidades, resultando em um menor comprimento de espigas.

O número de espigas por planta não sofreu influência das irrigações nos sistemas de implantação estudados. Segundo Magalhães et al. (2006), essa característica é definida durante a fase vegetativa da cultura, quando não houveram irrigações. Parizi et al. (2009), trabalhando com milho irrigado, também não observaram diferença estatística no número de espigas por planta com a utilização da irrigação.

Tabela 7 – Componentes de rendimento do milho: espigas por planta (n°), comprimento de espigas (cm), grãos por espiga (n°) e massa de mil grãos (g); em função dos sistemas de implantação e da irrigação. Santa Maria, RS, 2016

Sistemas de Implantação	Irrigação		
	Com Irrigação	Sem Irrigação	Média Sistemas
	Espigas por planta (n°)		
Com Camalhão	1,29	1,31	1,30 a
Sem Camalhão	1,07	1,05	1,06 b
Média Irrigação	1,18	1,18	
CV[1] (%)		4,49	
	Comprimento de espigas (cm)		
Com Camalhão	18,45	17,20	17,82 a
Sem Camalhão	16,03	15,21	15,62 b
Média Irrigação	17,24 A	16,20 B	
CV[1] (%)		2,07	
	Grãos por espiga (n°)		
Com Camalhão	346,55	331,75	339,15 a
Sem Camalhão	307,86	297,85	302,85 b
Média Irrigação	327,20 A	314,80 B	
CV[1] (%)		2,31	
	Massa de mil grãos (g)		
Com Camalhão	350,41	343,83	347,12[ns]
Sem Camalhão	349,85	339,10	344,47
Média Irrigação	350,13[ns]	341,46	
CV[1] (%)		2,31	

*Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste “t” à 5% de probabilidade de erro.
[ns] Não significativo de acordo com a análise de variância à 5% de probabilidade de erro.
[1]Coeficiente de variação determinado pela análise de variância.

A massa de mil grãos foi similar para todos os tratamentos estudados no trabalho. Durante as fases de enchimento de grãos da cultura do milho, ocorre a translocação dos fotoassimilados presentes nas folhas e no colmo para a espiga e grãos em formação, a eficiência dessa translocação, é extremamente dependente de água e qualquer estresse hídrico nessa fase pode afetar o processo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Esse componente não foi afetado, provavelmente, devido à manutenção da demanda hídrica da cultura pela boa distribuição das precipitações durante o período de enchimento de grãos. Resultados que estão de acordo com os encontrados por Mass et al., (2015) que também não observaram variação na massa de grãos em milho cultivado com o uso de camalhões e irrigação, em áreas de arroz.

Houve diferença no rendimento de grãos para os sistemas de implantação avaliados no trabalho e para a resposta da cultura à irrigação (Tabela 8). Em relação aos sistemas de implantação, a utilização de camalhões proporcionou incremento de aproximadamente 27% no rendimento de grãos quando comparado ao sistema sem a utilização de camalhões. Esta diferença é consequência do aumento de todas as características agronômicas de crescimento da cultura avaliadas nesse sistema, que resultou em acréscimo em componentes de rendimento diretamente relacionadas ao rendimento de grãos, como o número de espigas por planta e o número de grãos por espiga. Resultados que estão relacionados, principalmente, à melhor drenagem superficial da área durante a fase vegetativa inicial do milho no sistema com camalhão, uma vez que, nesse período, ocorreram períodos de excesso hídrico no solo.

Nesse contexto, Ali (1976), observou que o excesso hídrico no solo prejudica, significativamente, a produção de grãos de milho e que as reduções dependem do tempo de encharcamento e do estádio de desenvolvimento das plantas. Vários autores relataram que o maior dano e, consequentemente, a redução de produção de milho acontece quando o estresse ocorre durante o estádio vegetativo da cultura (KANWAR et al., 1988; MUKHTAR et al., 1990; FERREIRA et al., 2009).

Tabela 8 – Rendimento de grãos de milho (kg ha^{-1}) nos sistemas com e sem camalhão em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2016

Sistemas de Implantação	Rendimento de Grãos (kg ha^{-1})		
	Com Irrigação	Sem Irrigação	Média Sistemas
Com Camalhão	9066,52	8860,73	8963,63 a
Sem Camalhão	6602,17	6415,14	6508,65 b
Média Irrigação	7834,34 A	7637,94 B	
CV[1] (%)		7,2	

*Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste "t" à 5% de probabilidade de erro.
[1]Coeficiente de variação determinado pela análise de variância.

As irrigações realizadas durante os estádios de pendoamento e florescimento da cultura elevaram em média 3% o rendimento de grãos de milho em ambos os sistemas em comparação aos sistemas sem irrigação. Resultados que corroboram com os encontrados por Silva et al. (2006), que observou aumento no rendimento de grãos de milho, cultivado com e sem camalhões, em áreas de rotação com arroz irrigado, com o uso da irrigação.

Analisando-se somente os tratamentos irrigados, observou-se que independentemente do sistema de irrigação por superfície utilizado, irrigação por sulcos para o tratamento com camalhão e irrigação por faixas para o sistema sem camalhão o acréscimo no rendimento de grãos e a eficiência de irrigação foi estatisticamente semelhante nos dois sistemas (Tabela 9). Porém, o sistema com camalhão apresentou eficiência de uso da água maior em 26,3%, em relação ao sistema sem camalhão, com valores de 1,29 kg ha^{-1} m^{-3} e 0,95 kg ha^{-1} m^{-3}, respectivamente. Mostrando que, nesse sistema de implantação, irrigado por sulcos, as plantas foram mais eficientes na utilização da água, resultando em acréscimo no rendimento de grãos. El-Halim (2013) encontrou eficiência de uso da água de 1,24 kg ha^{-1} m^{-3} para a cultura do milho irrigada por sulcos, valor que se aproxima ao encontrado no presente estudo.

Tabela 9 – Acréscimo no rendimento de grãos proporcionado pela irrigação (ARG) (kg ha^{-1}), lâmina de irrigação total aplicada nas irrigações (LIT) (mm), eficiência do uso da água (EUA) (kg ha^{-1} m^{-3}), e eficiência de irrigação (EI) (kg ha^{-1} mm^{-1}), em função dos sistemas de implantação utilizados. Santa Maria, RS, 2016

Sistema de Irrigação	ARG (kg ha^{-1})	LIT (mm)	EUA (kg ha^{-1} m^{-3})	EI (kg ha^{-1} mm^{-1})
Com camalhão	205,78^{ns}	62,79^{ns}	1,29 a	3,3^{ns}
Sem camalhão	187,02	55,16	0,95 b	3,5
CV[1] (%)	5,97	21,6	1,87	18,21

*Médias seguidas por letras minúsculas na coluna diferem estatisticamente pelo teste “t” à 5% de probabilidade de erro.
^{ns} Não significativo de acordo com a análise de variância à 5% de probabilidade de erro.
[1]Coeficiente de variação determinado pela análise de variância.

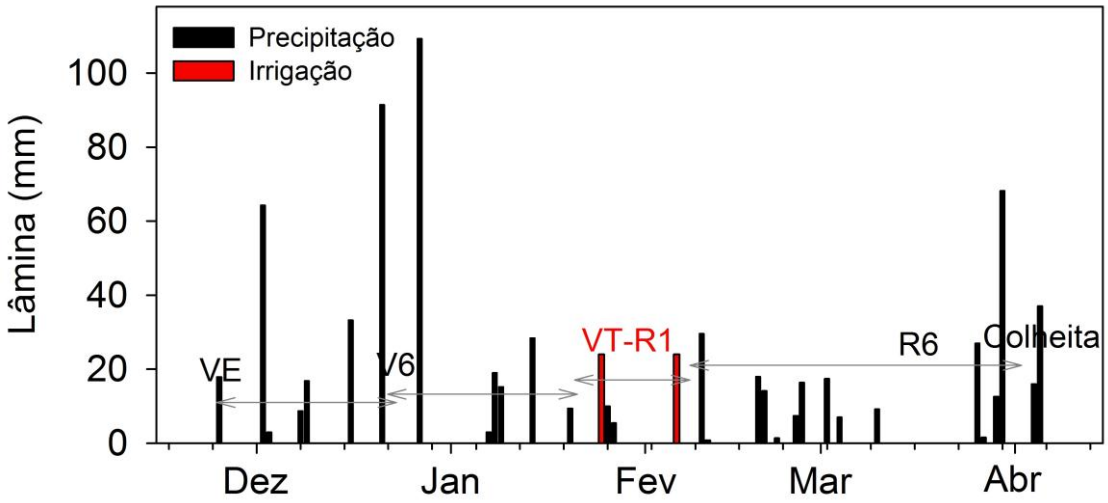
4.2 EXPERIMENTO II – RESPOSTA DO MILHO CULTIVADO EM CAMALHÕES À IRRIGAÇÃO POR SULCOS EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

Para a safra 2014/15, houve distribuição regular das precipitações durante a quase totalidade do período de cultivo do milho (Figura 5). As precipitações com maiores volumes, de forma geral ocorreram durante a emergência e o desenvolvimento vegetativo da cultura, não havendo necessidade de irrigação nesses períodos.

Porém, com base no monitoramento da umidade do solo, houve a necessidade de duas irrigações ao longo do ciclo de cultivo do milho, em períodos reprodutivos da cultura. A primeira irrigação foi realiza durante o estádio VT (pendoamento) da cultura, aos 64 dias após a emergência de plantas (DAE). Nessa data, o conteúdo médio de água no solo na camada 0,0-0,2 m encontrava-se em 60% do limite superior de disponibilidade hídrica no solo. A segunda irrigação foi realizada aos 74 DAE, durante o estádio R1(florescimento) da cultura. Na segunda irrigação o conteúdo médio de água no solo encontrava-se em 59% do limite superior de disponibilidade de água no solo.

Em cada irrigação aplicou-se uma lâmina média de água de 24 mm, totalizando 48 mm de água aplicada no tratamento irrigado. A precipitação pluvial ao longo do desenvolvimento da cultura foi de 720 mm, portanto, os tratamentos irrigados receberam um total de 768 mm de água.

Figura 5 – Distribuição das precipitações e eventos de irrigação durante o período de cultivo do milho em área de arroz na safra 2014/15. Santa Maria, RS, 2016



*Linhas na horizontal indicam os estádios fenológicos do milho: VE: emergência de plântulas; V6: 6 folhas completamente formadas; VT-R1: pendoamento e florescimento. R6: maturidade fisiológica.

Para as características agronômicas de crescimento: diâmetro do colmo, altura de plantas e altura de inserção da espiga (Tabela 10), não houve influência da irrigação. O que pode ser explicado devido à primeira necessidade de irrigação ter ocorrido somente no estádio VT da cultura, estádio esse, em que as plantas de milho atingem seu máximo crescimento vegetativo (EMBRAPA, 2013b). Portanto, como as irrigações foram realizadas a partir desse estádio para o tratamento irrigado, não houve resposta dessa prática para essas características. Cakir, (2004) encontrou resposta semelhante, em que, em seu estudo, não houve influência da irrigação na altura de plantas de milho, quando esta prática foi realizada somente no período reprodutivo da cultura.

Tabela 10 – Características agronômicas de crescimento do milho: altura de plantas (m), diâmetro do colmo (cm) e altura de inserção da espiga (m); em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2016

Irrigação	Característica		
	Altura de Plantas (m)	Diâmetro do colmo (cm)	Altura de inserção da espiga (m)
Com Irrigação	2,17^{ns}	19,33^{ns}	1,17^{ns}
Sem Irrigação	2,16	18,53	1,13
CV[1] (%)	4,49	11,99	12,3

^{ns} Não significativo de acordo com a análise de variância à 5% de probabilidade de erro.
[1]Coeficiente de variação determinado pela análise de variância.

Tabela 11 – Componentes de rendimento do milho: espigas por planta (n°), grãos por espiga (n°) e massa de mil grãos (g); em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2016

Irrigação	Característica		
	Espigas por planta (n°)	Número de grãos por espiga (n°)	Massa de mil grãos (g)
Com Irrigação	1,1^{ns}	398,9 a	317,67^{ns}
Sem Irrigação	1,1	334,8 b	316,17
CV[1] (%)	7,04	2,64	4,10

*Médias seguidas por letras minúsculas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste “t” à 5% de probabilidade de erro.
^{ns} Não significativo de acordo a análise de variância à 5% de probabilidade de erro.
[1]Coeficiente de variação determinado pela análise de variância.

O tratamento irrigado obteve incremento no rendimento de grãos em relação ao não irrigado (Tabela 12), resultado que corrobora com os obtidos por Rodrigues et al. (2013) e Mass et al. (2013; 2015) em estudo realizado com milho cultivado em sistema de camalhões e irrigado por sulcos em áreas de arroz irrigado localizadas na Depressão Central do Rio Grande do Sul.

O rendimento de grãos de milho apresentou acréscimo de 16%, totalizando 1537 kg ha^{-1}, para o tratamento irrigado. Esse acréscimo em relação ao tratamento não irrigado relaciona-se ao fato das irrigações terem sido realizadas em estádios de

florescimento da cultura, VT e R1, fases em que, segundo Bergamaschi et al. (2006) ocorre a maior sensibilidade ao déficit hídrico da cultura.

Tabela 12 – Rendimento de grãos (kg ha^{-1}), e eficiência do uso da água (EUA) (kg ha^{-1} m^3) do milho em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2016

Irrigação	Característica	
	Rendimento de grãos (kg ha^{-1})	EUA (kg ha^{-1} m^3)
Com Irrigação	9602 a	1,29
Sem Irrigação	8065 b	-[2]
CV[1] (%)	6,38	8,16

*Médias seguidas por letras minúsculas na coluna diferem estatisticamente pelo teste “t” à 5% de probabilidade de erro.
[ns] Não significativo de acordo com a análise de variância à 5% de probabilidade de erro.
[1]Coeficiente de variação determinado pela análise de variância.
[2]Valor não determinado.

Apesar de não ter ocorrido influência da irrigação no numero de espigas por plantas e na massa de mil grãos (Tabela 11), componentes de rendimento da cultura, as plantas do tratamento irrigado apresentaram significativo aumento no número de grãos por espiga. O que ocorreu, provavelmente, devido à utilização da irrigação, pois, segundo Sangoi et al. (2010), quando ocorre déficit hídrico no florescimento da cultura o déficit causa defasagem entre a liberação de pólen e a emissão de estigmas, reduzindo o número de grãos por espiga, ocasionando, consequentemente, redução no rendimento de grãos.

4.3 DISCUSSÃO GERAL

O sistema de implantação com camalhão, no experimento I, influenciou no aumento de todas as características agronômicas de crescimento avaliadas: altura de plantas, diâmetro do colmo, índice de área foliar e massa seca da parte aérea; resultando no acréscimo dos componentes de rendimento: número de espigas por planta, comprimento de espigas e número de grãos por espiga; além de influenciar no incremento do rendimento de grãos da cultura do milho, em relação ao sistema

sem camalhão. O acréscimo nessas características relaciona-se, principalmente, à melhoria da drenagem do terreno nesse sistema, pois, durante os estádios vegetativos da cultura ocorreram frequentes precipitações com elevados volumes resultando em excesso de água no solo, e consequentemente, no sistema radicular das plantas, fazendo com que as plantas cultivadas sem camalhão sofressem influência mais severa desse estresse, devido à drenagem deficiente do solo hidromórfico da área. Resultados, estes, que corroboram com os obtidos por Zaidi et al., (2010), que observaram que o crescimento, desenvolvimento e rendimento do milho são comprometidos quando ocorrem períodos de excesso de água no solo, devido a redução da oxigenação na zona radicular das plantas.

Em ambos os experimentos (I e II) houve distribuição regular das precipitações durante os períodos vegetativo e de enchimento de grãos do milho, capazes de atender a demanda hídrica da cultura. Porém, ocorreram déficits hídricos durante os estádios de pendoamento e florescimento da cultura, quando as irrigações foram realizadas. Estádios, estes, considerados críticos ao déficit hídrico para a cultura do milho (MORIZET; TOGOLA, 1984). As irrigações realizadas durante esses estádios resultaram em acréscimo no número de grãos por espiga e no rendimento de grãos de milho para os experimentos I e II, em relação aos tratamentos não irrigados. Estes resultados obtidos, estão de acordo com Bergamaschi et al. (2004), que constataram que pode haver redução de rendimento mesmo em anos climaticamente favoráveis, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico.

Comparando-se o uso da irrigação nos diferentes sistemas de implantação, com e sem camalhão, observou-se que, quando cultivadas em camalhões e irrigadas por sulcos as plantas de milho apresentaram maior eficiência de uso da água, em relação àquelas cultivadas sem camalhões e irrigadas por faixas. A eficiência de uso da água encontrada em ambos os experimentos no sistema com camalhão foi de 1,29 kg ha^{-1} m^{-3}, valor que se assemelha ao encontrado por El-Halim, (2013), para milho irrigado por sulcos.

O sistema de cultivo com camalhão apresentou, no experimento I, rendimento médio de grãos de milho de 9066,5 kg ha^{-1} com o uso da irrigação e 8860,7 kg ha^{-1} sem o uso da irrigação. No experimento II, onde também se utilizou o cultivo em camalhões, esses valores para os tratamentos irrigado e não irrigado foram 9602 kg ha^{-1} e 8065 kg ha^{-1}, respectivamente. Já as produtividades obtidas sem o uso do

camalhão no experimento I foram 6602,17 kg ha^{-1} e 6415,14 kg ha^{-1} com e sem uso da irrigação, respectivamente.

A partir do rendimento de grãos de milho obtido nos diferentes sistemas de implantação, constata-se a maior viabilidade e rentabilidade da utilização do sistema com camalhão para o cultivo de milho em áreas de arroz irrigado, em relação ao sistema sem camalhão. Pois, a produtividade obtida nesse sistema, além de superior àquela obtida no sistema sem camalhão, encontra-se bem acima da média estadual, que para a safra 2014/15 foi de 6560 kg ha^{-1} (CONAB, 2015). Enquanto que, no sistema de implantação sem camalhão as médias produtivas obtidas enquadram-se próximas á média estadual.

Em vista do exposto, os resultados obtidos no presente trabalho evidenciam a importância da drenagem durante a fase inicial da cultura e, também, da irrigação em períodos de déficit hídrico, para a máxima expressão do potencial produtivo do milho em áreas de rotação com arroz irrigado.

5 CONCLUSÃO

O estudo dos sistemas de implantação e irrigação por superfície para o cultivo de milho em áreas de arroz irrigado, através da realização dos experimentos I e II, constatou que:

O sistema de implantação com camalhão proporciona aumento na altura de plantas, diâmetro do colmo, índice de área foliar e massa seca da parte aérea, características agronômicas de crescimento da cultura, em relação ao sistema sem camalhão.

O primeiro sistema ainda proporciona, em relação ao segundo, nos componentes de rendimento do milho, aumento no número de espigas por planta, comprimento de espigas e número de grão por espiga, não havendo influência de nenhum sistema na massa de mil grãos de milho.

A utilização do sistema de implantação com camalhão em áreas de arroz irrigado proporciona maior eficiência do uso da água e acréscimo no rendimento de grãos de milho quando comparado ao sistema sem camalhão.

Irrigações realizadas somente durante o período reprodutivo do milho não influenciam nos componentes agronômicos de crescimento: altura de plantas, diâmetro do colmo, índice de área foliar e massa seca da parte aérea; em ambos os sistemas de implantação.

Quanto aos componentes de rendimento do milho, o uso da irrigação proporciona aumento no comprimento de espigas e no número de grão por espiga. O número de espigas por planta e a massa de mil grãos não sofreram influência do uso da irrigação nesse trabalho.

O uso da irrigação em períodos de déficit hídrico no solo aumenta o rendimento de grãos de milho cultivado em áreas de arroz irrigado, independente do sistema de implantação utilizado.

A combinação entre o sistema de implantação com camalhão e a irrigação proporciona maior rendimento de grãos de milho em áreas de arroz irrigado, comparativamente às outras combinações testadas.

REFERÊNCIAS

ALI, M. Effect of stages and duration of flooding on grain yield of hybrid maize. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 21, n. 4, p. 477-478, 1976.

ALI, M. Effect of water stresses on the growth features of diferente maize (*Zea mays* L.) cultivars. Pak. J. Bot., v. 31, n. 2, p. 455-460, 1999.

AHMAD, N.; KANWAR, R.S. Effect of Different Moisture Stress Levels on Corn Growth in Field Lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 5, p. 437-442. 1991.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

ANDRES, A.; AVILA, L. A. de; MARCHEZAN, E.; MENEZES, V. G. Rotação de culturas e pousio do solo na redução do banco de sementes de arroz vermelho em solo de várzea. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 2, p. 85-88, 2001.

ARMSTRONG, W. Aeration in higher plants. In: WOODHOUSE, H. W. W. (Ed.). **Advances in botanical research**, New York: Academic Press, p. 225-332, 1979.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 8. ed., 2006. 625 p.

BISPO, N. B. **Seleção de genótipos e análise da tolerância do milho (Zea mays L.) ao encharcamento do solo**. 2011.78 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CAKIR, T. Effect of water stress at diferente development atages on vegetative and reproductive growth of corn. **Field Crops Research**, Amsterdan, v. 89, p. 1-16, 2004.

CHOUDHARY, V. K. et al. Response of tillage and in situ moisture conservation on alteration of soil and morpho-physiological differences in maize under Eastern Himalayan region of India. **Soil and Tillage Research**, v. 134, n. 2, p. 41-48, 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: safra 2014/15, v. 2 n. 12, 2015, 134p. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 10 Jan. 2016.

DUVICK, D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (Zea mays L**.). Advances in Agronomy**, New York, v. 86, p. 83-145, 2005.

EL-HALIM, A. A. Impact of alternate furrow irrigation with different irrigation intervals on yield, water use efficiency, and economic return of corn. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 73, n. 2, p. 175-180, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul – Safras 2013/1014 e 2014/2015**. 1. ed. Brasília, 2013. 125p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaiba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

FERREIRA, J. L. et al. Genetic variability and morphological modifications in flooding tolerance in maize, variety BRS-4154. **Crop Breeding and Applied Biotechnology,** v. 7, p. 314-320, 2007.

FERREIRA, J. L.; MAGALHÃES, P. G.; BORÉM, A. Avaliação de três características fisiológicas em 4 ciclos de seleção no cultivar de milho BRS-4154 sob solo encharcado**. Ciências agrotec**., Lavras, v. 32, n. 6, p. 1719-1723, 2008.

FIORIN, T. T.; SPOHR, R. B.; CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; SANTA, C. D.; DAVID, G. D. Produção de silagem de milho sobre camalhões em solos de várzea. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 2, p. 147-153, 2009.

FORSTHOFER, E. L. et al. Desempenho agronômico e econômico do milho em diferentes sistemas de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 399-407, 2006.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.

GIACOMELI, R. **Sistemas de implantação de milho em planossolos do Rio Grande do Sul. 2015**. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

GOMES, A. S.; PORTO, M. P.; PARFITT, J. M. B.; SILVA, C. A. S. **Rotação de culturas em áreas de várzea e indicadores de qualidade de solo**. In: ROTAÇÃO de culturas em área de várzea e plantio direto de arroz. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 70p.

GOMES, A. S. et al. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase as áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40 p. (Documentos, 169).

GORDON, W. B.; RANEY, R. J.; STONE, L. R. Irrigation management practices for corn production in north central Kansas. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 50, n. 4, p. 395-398, 1995.

GHILDYAL, B. P.; SINGH, R. **Water management problems of kharif-crop maize and soybean**. In: National Symposium on Water Resources of India and Their Utilization in Agriculture, Water Technology Centre, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, pp x-y, 1972.

HUANG, S.; GREENWAY, H.; COLMER, T. D. Responses by coleoptiles of intact rice seedlings to anoxia: K^+ net uptake from the external solution and translocation from the caryopses. **Annals of Botany**, Oxford, v. 91, n. 2, p. 271-278, 2003.

ISMAIL, S. M. Effect of tillage on water advance and distribution under surge and continuous furrows irrigation methods for cotton in Egypt. **Irrigation and Drainage**. v. 55, p. 191-199, 2006.

JAT, M. L. et al. Layering precision land leveling and furrow irrigated raised bed planting: Productivity and input use efficiency of irrigated bread wheat in indo-gangetic plains. **American Journal of Plant Sciences**, v. 2, n. 1, p. 578-588, 2011.

JOSHI, V. N.; DASTANE, N. G. Studies on excess water tolerance of crop plants. II. Effect of different duration of flooding at different growth stages under different layout, on growth, yield and quality and maize. **Indian Journal of Agronomy**, v. 11, p. 70-79, 1966.

KANWAR, R. S.; BAKER, J. L.; MUKHTAR, S. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of com. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v. 31, n. 1, p. 133-141, 1988.

LONE, A. A.; WARSI, M. Z. K. Response of maize (Zea mays L.) to excess soil moisture (ESM) tolerance at different stages of life cycle. **Botany Research International**, v. 2, p. 211-217, 2009.

MAASS, M. B. et al. Desempenho agronômico de milho em áreas de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria, **Anais**...Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2013. p. 1628-1637.

MAASS, M. B. et al. Desempenho agronômico de milho em áreas de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 9., 2015, Pelotas, **Anais**... Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2015. p. 834-838.

MAGALHÃES, P. C.; DURÕES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. MG: Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Sete Lagoas, 2006. 10p. (Cirucular técnica 76).

MAGALHÃES, P. C.; DURÕES, F. O. M. Ecofisiologia. In: **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 6. ed., 2010. Versão eletrônica. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/ecofisiologia.htm.

MALUF, J. R. T. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 460-467, 2001.

MARCHEZAN, E. et al. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no controle de arroz vermelho em várzea. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 21., Porto Alegre, RS. 1995. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, p. 151-153, 1995.

MARCHEZAN, E. et al. Produção animal em várzea sistematizada cultivada com forrageiras de estação fria submetidas a diferentes níveis de adubação. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 303-308, 2002.

MARCHESAN, E. Desafios e perspectivas de rotação com soja em áreas de arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013. **Anais...** Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Arroz Irrigado, 2013. Resumo 636. 2 CD-ROM.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 105p. (BOLETIM FEPAGRO, 10).

MEYER, W. S. et al. Response of maize to three short-term periods of waterlogging at high and low nitrogen levels on undisturbed and repacked soil. **Irrigation Science**, v. 8, p. 257-272, 1987.

MORIZET, J.; TOGOLA, D. Effect et arrière-effect de la sécheresse sur la croissance de plusieurs génotipes de maïs. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE, 1984, Versailles. **Les bésoins en eau des cultures**. Paris: Inra, 1984. p. 351-360.

MUKHTAR, S.; BAKER, J. L.; KANWAR, R. S. Com growth as affected by excessiva soil water. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 2, p. 437-442. 1990.

OLIVEIRA, C. F. de. **Censo da lavoura de arroz irrigado do rio grande do sul – safra 2004-05**. Porto Alegre: IRGA, 2006. 122 p.

PALWADI, H. K.; LAL, B. Note of susceptibility of maize to waterlogging at different growth stages. **Patnagar Journal of Research** v. 1, p. 141-142, 1976.

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

PARIZI, A. R. C. et al. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga,** Botucatu, v. 14, n. 3, p. 254-276, 2009.

PAULETTO, E. A. et al. Produtividade do arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo e em rotação com soja e milho. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 1991, Camboriú, SC, **Anais...** Camboriú, EMPASC, p. 125-129, 1991.

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J. A.; PAULETTO, E. A. **Solos de várzea no Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 75-95.

PORTO, M. P.; STORCK, L. Comportamento de híbridos comerciais de milho em solos hidromórficos, no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, p. 34-42, 2003.

PORTO, M. P. Cultivares de milho. In: PARFITT, J. M. B. (Coord.). **Produção de milho e sorgo em várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. p. 45-55 (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 74).

PORTO, M. P.; BRANCÃO, N. **Desempenho de cultivares de milho em áreas de rotação com arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 2p. (Recomendação Técnica, 25).

PORTO, M. P. et al. **Avaliação de híbridos comerciais de milho em áreas de arroz irrigado no Rio Grande do Sul 2000/01 e 2001/02**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 8p. (Comunicado Técnico, 62).

PORTO, M. P. et al. **Desempenho de cultivares de milho em áreas de arroz irrigado do Rio Grande do Sul nas safras 2002/03 e 2003/04**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 26p. (Documentos, 131).

PORTO, M. P. et al. **Desempenho de Cultivares de Milho em Áreas de Rotação com Arroz Irrigado no Ano Agrícola 2004/05**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005. 11p. (Circular Técnica, 44).

PRASAD, S.; RAM, P. C.; SINGH, J. P.; KHAN, N. A. Effect of water logging durations on plant height, leaf area, starch content, catalase activity and grain yield of maize genotypes. **International Journal of Plant Sciences**, v. 2, p. 180-184, 2007.

RAM, H. et al. Tillage and planting methods effects on yield, water use efficiency and profitability of soybean–wheat system on a loamy sand soil. **Journal of Experimental Agriculture**, v. 49, n. 4, p. 524-542, 2003.

RITCHIE, S. W.; JOHN, J. H.; GARREN, O. B. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, 1993. (Special Report,48).

RODRIGUES, J. et al. Eficiência do uso de água e rendimento de grãos na cultura do milho em área de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria, **Anais...** Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2013. p. 1628-1637.

ROTA, A. M. **Avaliação da irrigação por sulcos em solos com camada de impedimento**. 2003. 134 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; ZANIN, C. G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de planta. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, p. 263-271, 2007.

SANGOI, L. et al. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010. 87 p.

SARTORI, G. M. S. et al. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 50, n. 12, p. 1139-1149, dez. 2015.

SHAH, N. A. et al. Morphological and Yield Responses of Maize (Zea mays L.) Genotypes Subjected to Root Zone Excess Soil Moisture Stress. **Plant Stress**, v. 5, n. 1, p. x-y, 2011.

SCHILD, L. N. et al. **Comportamento do milho, em planossolo, sob condições de excesso hídrico**. I - Desempenho agronômico. Agropecuária Clima Temperado, Pelotas, v. 2, n. 1, p. 97-109, 1999.

SHAO, H. et al. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 215-225, 2008.

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B.; PORTO, M. P. **Manejo da água para as culturas do milho, sorgo e soja em solos hidromórficos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 46p. (Circular Técnica, 26).

SILVA, C. A. S. et al. **Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 4 p. (Comunicado Técnico, 165).

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. Drenagem e irrigação para milho e sorgo cultivados em rotação com arroz irrigado. In: PARFITT, J. M. B. (Coord.). **Produção de milho e sorgo em várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. 146 p. (Documentos, 74).

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. Lavouras de Milho e Sorgo Irrigadas por Inundação. In: PARFITT, J.M.B. (Coord.). **Milho, Sorgo e Soja em Área de Arroz Irrigado, na Região da Campanha do Rio Grande do Sul**: Resultados de pesquisa das safras 1999/00, 2000/01 e 2001/02. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 82p. (Documendos, 97).

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. **Drenagem Superficial para diversificação do Uso dos Solos de Várzea do Rio Grande do Sul.** Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2004, 10 p. (Circular Técnica, 40).

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. **Irrigação por Inundação Intermitente para Culturas em Rotação ao Arroz em Áreas de Várzea do Rio Grande do Sul.** Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2005, 12 p. (Circular Técnica, 46).

SILVA, C. A. S. et al. **Sistema sulco/camalhão para culturas em rotação ao arroz em áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 14 p. (Circular técnica, 54).

SILVA, C. A. S. et al. **Drenagem superficial para cultivos rotacionados em solos de várzea**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2008, 23 p. (Documentos, 237).

SILVA, S. D. A. **Estudos genéticos em milho sobre o caráter tolerância ao encharcamento do solo**. 2003. 71 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SILVA, S. D. A. et al. Capacidade combinatória de genótipos de milho para tolerância ao encharcamento do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 391-396, 2006.

SILVA, P. R. F.; SHOENFELD, R. E. Desafios e perspectivas de rotação com milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria, **Anais...** Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2013. p. 1628-1637.

SINGH, R.; GHILDYAL, B. P. Soil submergence effects on nutrient uptake, growth and yield of five com cultivars. **Agronomy Journal, Madison**, v. 75, n. 5, p. 737-741, 1980.

SINGH, R.; GHILDYAL, B. P. Soil submergence effects on nutrient uptake, growth and of five corn cultivars. **Agronomy Journal**, n. 77, p. 737-741, 1980.

SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil **XXX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**, 06 a 08 de agosto de 2014, Bento Golçaves, RS, Brasil. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, Santa Maria, 2014. 192p.

TEIXEIRA, F. F.; COSTA, F. M. **Caracterização de recursos genéticos de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 10p. (Comunicado Técnico, 185).

THEISEN, G.; SILVA, J. J. C.; ANDRES, A. **Produção de Milho em Terras Baixas: Síntese de Três Anos de Estudos com Plantio Direto em Camalhões de Base Larga**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 17 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 126).

VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, M. B. Plant adaptations to anaerobic stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 79, p. 3-20, 1997.

VELOSO, M. E. C. et al. Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 3, p. 382-394, 2006.

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. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 15, n. 4, p. 37-42, 2009a.

VERNETTI JUNIOR, F. J.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1708-1714, set. 2009b.

VIEIRA, V. M. et al. Rendimento de grãos de milho sob diferentes sistemas de irrigação por aspersão. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 3, p. 471-485, 2013.

VISSER, E. J. W. et al. Flooding and plant growth. **Annals of Botany**, Oxford, v. 91, n. 2, p. 107-109, 2003.

WELCKER, C. et al. Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit?: a QTL study of the responses of leaf growth and of Anthesis-Silking Interval to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 58, p. 339-349, 2007.

ZAIDI, P. H. et al. Tolerance to excess moisture in maize (*Zea mays* L.): susceptible crop stages and identification of tolerant genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 90, n. 2-3, p. 189-202, 2004.

ZAIDI, P. H. P. et al. Stress-adaptive changes in tropical maize (Zea mays l.) under excessive soil moisture stress. **Maydica**, v. 52, p. 159-173, 2007.

ZAIDI, P. H. et al. Genetic analysis of water-logging tolerance in tropical maize (*Zea mays* l.). **Maydica**, v. 55, p. 17-26, 2010.

ZANG, X. et al. Effects of raised-bed planting for enhanced summer maize yield on rhizosphere soil microbial functional groups and enzyme activity in Henan Province, China. **Field Crops Research**, v. 130, n. 3, p. 28-37, 2012.