



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
INSTITUTO FEDERAL FARROUPILHA CAMPUS ALEGRETE**



**Alegrete, 2016**

**MANEJO DE SOLO PARA VIABILIZAR O CULTIVO DE MILHO EM  
ÁREAS DE VÁRZEA**

**ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Miguel Chaiben Neto**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa e Instituto Federal Farroupilha, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Agrícola**.

**Orientador: Prof. Ms. Rafael Ziani Goulart**

**Alegrete, 2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados  
fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

N 469 Neto, Miguel Chaiben Neto

Manejo de Solo para Viabilizar o Cultivo de Milho em Áreas de Várzea /  
Miguel Chaiben Neto Neto. 49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)—Universidade Federal do  
Pampa, ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2016.

"Orientação: Rafael Ziani Goulart ".

1. Manejo de solo. 2. Escarificação. 3. Cultivo em camalhões . 4. Cultura  
do Milho. I. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
INSTITUTO FEDERAL FARROUPILHA CAMPUS ALEGRETE**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova o Relatório de Estágio Supervisionado**

**MANEJO DE SOLO PARA VIABILIZAR O CULTIVO DE MILHO EM  
ÁREAS DE VÁRZEA**

Elaborado por:  
**Miguel Chaiben Neto**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Ms. Rafael Ziani Goulart**  
Orientador (IFFARROUPILHA)

---

**Prof. Dra. Ana Carla Gomes**  
(IFFARROUPILHA)

---

**Prof. Dr. Ricardo Paraginsk**  
(IFFARROUPILHA)

Alegrete, 6 de julho de 2016

## **AGRADECIMENTOS**

Com a conclusão de mais essa etapa na minha graduação no curso de Bacharel em Engenharia Agrícola, gostaria de agradecer:

A minha família, em especial aos meus pais Miguel e Marilete, a minha irmã Camila, e a minha namorada Mariane, pelo amor, incentivo e apoio.

A Agropecuária Boa Esperança na pessoa dos proprietários seu Edi Goulart e Rafael Goulart, pelo empréstimo da área do experimento e todo o apoio e suporte necessário no desenvolvimento do mesmo.

Aos amigos e membros do Grupo de Ensino Pesquisa e Extensão em agricultura de Conservação – GEPEAC pelo apoio e suporte em um momento muito difícil.

Ao Professor e orientador Ms. Rafael Ziani Goulart, pela orientação, ensinamentos e amizade.

Aos amigos e colegas pelo companheirismo e troca de experiências durante o curso.

.

A todos, meu **MUITO OBRIGADO!**

## **RESUMO**

Trabalho de Conclusão do Curso  
Instituto Federal Farroupilha- Campus Alegrete  
Universidade Federal do Pampa (Unipampa)

### **MANEJO DE SOLO PARA VIABILIZAR O CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE VÁRZEA**

Autor: Miguel Chaiben Neto

Orientador: Prof. Ms. Rafael Ziani Goulart

Alegrete, 6 de julho de 2016.

O estado do Rio Grande do Sul possui uma área de várzea ociosa de aproximadamente 2 milhões de hectares, áreas essas que ficam em pousio esperando para receber a cultura do Arroz Irrigado. Os anos de cultivos sucessivos nas mesmas áreas propiciaram uma infestação de plantas daninhas, o que tem acarretado em uma redução de produtividade. Como geralmente as operações são realizadas com uma condição de excesso de umidade, devido ao hidromorfismo intrínseco destas áreas, onde a condição de friabilidade tem um intervalo pequeno, essas operações de modo geral causam o aparecimento de uma camada compactada em subsuperfície, que é praticamente comum a todas as áreas de várzea do estado onde a cultura do arroz esta instalada. A rotação de culturas é uma boa ferramenta para reduzir a infestação de plantas daninhas e ainda gerar renda em uma área que normalmente ficaria sob vegetação naturalizada. No entanto, o hidromorfismo dessas áreas praticamente inviabiliza o cultivo de culturas de sequeiro. O reduzido número de macroporos dificulta a aeração e a infiltração e, como geralmente as áreas de várzeas são planas, o solo ficará por um maior tempo saturado. O uso de técnicas de manejo de solo que ajudem a propiciar um ambiente melhor para o desenvolvimento das plantas é fundamental para o sucesso da rotação de culturas de sequeiro com o arroz irrigado. Assim o objetivo deste trabalho foi o de avaliar os efeitos de quatro manejos de solo e semeadura nos atributos físicos e no desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays L*) em solo de várzea. Para isso foi conduzido um experimento na região da Fronteira Oeste no município de Alegrete. O experimento foi desenvolvido

em um delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições e quatro tratamentos a saber: T1- convencional, T2- camalhão, T3- escarificado+camalhão e T4 - escarificado nos quais foram realizadas análises em 4 camadas de solo que são: 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm e 20-30cm. Foram analisados os seguintes atributos físicos do solo: densidade, porosidades e taxa de infiltração. Os dados foram submetidos a análise estatísticas teste F a 5% de probabilidade de erro. Com os resultados das análises dos atributos físicos observou-se uma melhor aeração no T2 nas duas camadas superiores, porém não diferiu de T3 e T4. Para a VIB não houve diferença significativa entre os tratamentos, devido os elevados coeficientes de variação, mas em valores absolutos T3 apresentou uma VIB mais alta que os demais. Para população de plantas estabelecias T2 ,T3 e T4 diferiram significativamente de T1, sendo T2 o tratamento com maior valor absoluto de plantas estabelecidas. A produtividade seguiu a tendência da população de plantas sendo T2 mais produtivo, no entanto, não diferindo de T3 e T4. Com esses resultados pode-se obter um melhor entendimento dos processos dinâmicos do ambiente de várzea e verificar a possibilidade do uso da cultura do milho como alternativa para a rotação de culturas nesse ambiente.

Palavras-Chave: hidromorfismo, aeração, escarificação, cultivo em camalhão, infiltração de água

## **ABSTRACT**

Completion of Course Work  
Federal Institute Farroupilha- Campus Alegrete  
Federal University of Pampa (UNIPAMPA)

### **SOIL MANAGEMENT TO MAKE CORN CROPS IN LOWLAND AREAS**

Author: Miguel Neto Chaiben

Advisor: Me Rafael Ziani Goulart.

Alegrete, July 6, 2016 .

The state of Rio Grande do Sul has an idle lowland area of about 2 million hectares, these areas that are fallow waiting to receive the culture of the Irrigated Rice. Years of successive crops in the same areas provided a weed infestation, which has resulted in a reduced productivity. How often operations are carried out with an excess of moisture condition, due to the intrinsic hydromorphism these areas where friable condition has a small range, these generally operations cause the appearance of compacted layer in the subsurface, which is practically common all state lowland areas where rice culture is installed. Crop rotation is good tool to reduce weed infestation and still generate income in an area that normally would be under naturalized vegetation. However, the hydromorphism these areas almost impossible the cultivation of rainfed crops. The small number of macropores difficult aeration and infiltration, and as generally the flood plains are flat, the soil will be saturated by a larger time. The use of soil management techniques to help provide a better environment for the development of plants is crucial to the success of rotation of rainfed crops with rice. The objective of this study was to evaluate the effects of four soil tillage and sowing the physical attributes and the development of maize (*Zea mays L*) in lowland soil. For this experiment was carried out in the region of the Western Frontier in the municipality of Alegrete. The experiment was conducted in a randomized block design with four replications and four treatments namely conventional T1, T2 ridge, T3 and T4 scarified + ridge - scarified in which analyzes were performed in 4 soil layers

that are: 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm and 20-30cm. The following soil physical properties were analyzed: density, porosity and infiltration rate. Data were subjected to statistical analysis F test at 5% probability of error. The results of the analysis of physical attributes observed in better aeration T2 in the top two layers , but did not differ T3 and T4 . For VIB there was no significant difference between treatments , because of the high coefficients of variation , but in absolute values T3 had a higher VIB than the others. For establecias population of plants T2, T3 and T4 were significantly different from T1 , T2 and the treatment with the highest absolute value of established plants. Productivity followed the trend of plant population being more productive T2 , however , not different from T3 and T4. With results we can get a better understanding of the dynamic processes of the floodplain environment and check the possibility of using corn as an alternative to crop rotation in this environment.

Keywords: hydromorphism, aeration, chiseling, cultivation ridge, water infiltration

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Regiões orizícolas do Rio Grande do Sul .....	16
Figura 2: Semeadura e preparo do solo convencional (T1).. .....	25
Figura 3: Semeadura e preparo do solo em camalhões (T2).. .....	26
Figura 4: Semeadura e preparo do solo escarificado + camalhões (T3).....	27
Figura 5: Semeadura e preparo do solo escarificado (T4). .....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de precipitação em mm para o período de cultivo do milho em área de várzea durante a safra 2015/2016 em Alegrete RS. ....	31
Tabela 2: Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) de um Gleissolo Melânico sob diferentes manejos do solo, em dezembro de 2015, após operações de preparo e semeadura. Alegrete, RS.....	33
Tabela 3: Coeficientes de variação resultantes da primeira análise de solo, realizada para cada tratamento nas diferentes profundidades.....	34
Tabela 4: Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) de um Gleissolo Melânico sob diferentes manejos do solo, após 35 dias das operações de preparo e semeadura. Alegrete, RS.....	35
Tabela 5: Coeficientes de variação resultantes da segunda análise de solo, realizada para cada tratamento nas diferentes profundidades.....	36
Tabela 6: Infiltração de água no solo ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) realizados nos dia 11 de dezembro de 2015 e 14 de janeiro de 2016, utilizando o método dos anéis concêntricos. ....	37
Tabela 7: Condutividade hidráulica de um Gleissolo Melânico submetido a diferentes operações de preparo e semeadura. , Alegrete, RS. ....	39
Tabela 8: Teores de clorofila na folha da cultura do Milho cultivado em solo de Várzea no município de Alegrete RS. ....	40
Tabela 9. População de plantas estabelecidas 40 dias após a semeadura de milho, para uma população idealizada de $60.000 \text{ pl.ha}^{-1}$ em várzea sob diferentes manejos solo. Alegrete, RS. ....	41
Tabela 10: Rendimento de grãos em $\text{Kg.ha}^{-1}$ para a cultura do milho na safra 2015/2016 em solo de várzea submetido a diferentes manejos. Alegrete, RS. ....	42

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1 O arroz e a monocultura.....	15
2.2 Solos de várzea do RS .....	16
2.3 Atributos físicos de solos de várzea .....	18
2.3.1 Compactação .....	19
2.3.2 Densidade e porosidade .....	20
2.3.3 Condutividade hidráulica .....	20
2.4 Rotação de culturas em áreas de várzea.....	20
2.5 Panorama do milho .....	21
2.6 Milho em áreas de várzea .....	21
2.7 Hipoxia .....	22
2.8 Alterações na estrutura do solo provocadas pelo manejo.....	23
3. METODOLOGIA .....	24
3.1 Análises de solo .....	28
3.1.1 Densidade e porosidade do solo.....	28
3.1.2 Infiltração de água do solo .....	28
3.1.3 Condutividade hidráulica.....	29
3.2 Análises de planta .....	29
3.2.1 População de plantas estabelecidas.....	29
3.2.2 Índice de clorofila .....	30
3.2.3 Rendimento de grãos:.....	30
3.3 Análises estatísticas.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	31
4.1 Atributos físicos do solo .....	32
4.2 Taxa de infiltração.....	36
4.3 Condutividade hidráulica .....	38
4.4 Teor de clorofila na folha.....	39
4.5 População de plantas estabelecidas.....	40
4.6 Produtividade .....	41
5. CONCLUSÕES .....	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
REFERÊNCIAS.....	46

## 1. INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul possui uma área de várzea de aproximadamente 3 milhões de hectares destinados ao cultivo do Arroz Irrigado, sendo que anualmente são cultivados cerca de 1 milhão de hectares e o restante da área destinada a cultura geralmente é deixado em pousio, onde a área passa o restante do período entre cultivos (de 2 a 5 anos) sem receber outra cultura e parte é usada para pecuária extensiva neste mesmo período. Os sucessivos cultivos nessas várzeas proporcionam um aumento da infestação de plantas daninhas e essa infestação gera uma concorrência entre a cultura e a planta daninha por luminosidade e nutrientes, e com isso acarretando em uma redução de produtividade.

Como geralmente as operações de solo são realizadas em condições inadequadas de umidade, e na maioria das vezes com um excesso de umidade do solo, ou seja, o solo estando mais plástico do que friável, é comum a praticamente todas as áreas de várzea a presença de uma camada compactada em subsuperfície, gerada pelo acúmulo de tensões impostas por máquinas e implementos.

A rotação de culturas pode ser uma alternativa para devolver as altas produtividades nessas áreas, proporcionando a quebra do ciclo de desenvolvimento de plantas daninhas e promovendo a ciclagem de nutrientes devido os diferentes tipos de sistemas radiculares. No entanto, o hidromorfismo dessas áreas e a presença de camadas compactadas em subsuperfície praticamente inviabilizam o cultivo de culturas de sequeiro nesse ambiente. Devido ao reduzido número de macroporos, a aeração e a infiltração do solo ficam prejudicadas de modo que a topografia das áreas de várzea é tipicamente plana. Como há pouca declividade para um rápido escoamento, e a taxa de infiltração é reduzida, o solo ficará por um maior tempo saturado.

O uso de técnicas de manejo de solo que ajudem a propiciar um ambiente melhor para o desenvolvimento das plantas é fundamental para o sucesso da rotação de culturas de sequeiro com o arroz irrigado. A escarificação é uma operação capaz de romper a camada compactada e com isso proporcionar uma melhor infiltração de água no solo e assim devolver a aeração ao solo em um

menor tempo após as precipitações. Outra operação que pode ser realizada é a semeadura em camalhões, na qual o sistema radicular da cultura é elevado proporcionando também uma melhor aeração do solo.

O uso do milho (*Zea mays L*) nessa rotação pode ser muito vantajoso para a propriedade, pois é uma cultura de fácil comercialização e um bom valor agregado, e em condições ideais de desenvolvimento pode chegar a boas produtividades.

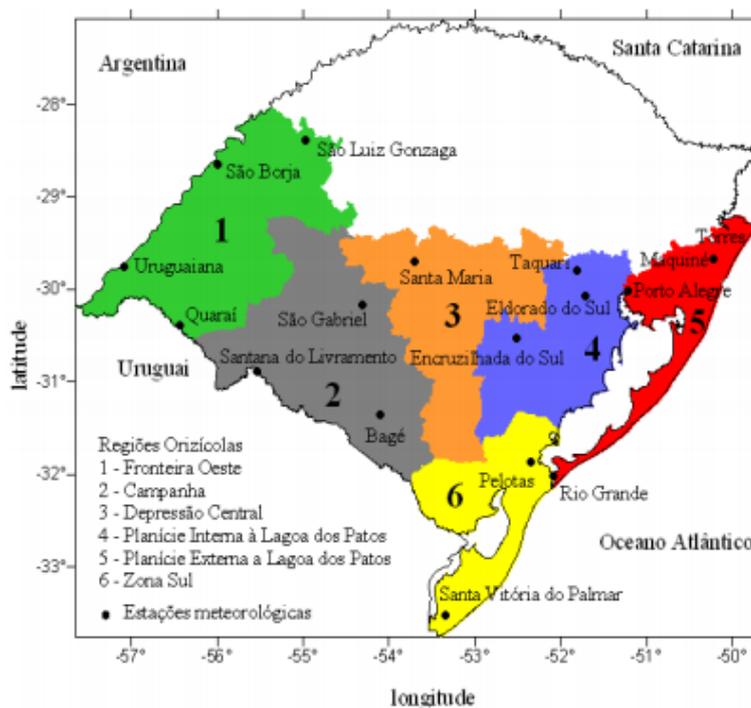
Diante deste panorama, o presente trabalho teve o intuito de avaliar diferentes formas de preparo do solo e semeadura, e seus efeitos nos atributos físico-hídricos do solo e no desenvolvimento da cultura do milho em solos hidromórficos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O arroz e a monocultura

O Rio Grande do Sul possui uma área de várzea de aproximadamente 5,4 milhões de hectares (VERNETTI et al., 2009 a), onde anualmente são cultivados cerca de 1 milhão de hectares com a cultura do arroz irrigado. Na safra 2014/15 foram cultivados 1,125 milhões de hectares (SCHNEID, 2015), sendo a área semeada nesta safra aproximadamente um terço do total da área destinada a cultura do arroz irrigado no estado.

Segundo Shoenfeld (2010), o Rio Grande do Sul pode ser dividido em seis regiões orizícolas, que são elas: Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Costeira Interna, Planície Costeira externa e a Região Sul (Figura 1). Essas regiões foram cultivadas durante sucessivos anos com a cultura do arroz irrigado, o que ocasionou em uma grande incidência de plantas invasoras, acarretando em uma redução na produtividade. O arroz vermelho é a principal planta daninha encontrada na cultura do arroz irrigado e os principais fatores para o aumento da presença de arroz-vermelho nessas áreas são: uso intensivo, poucos herbicidas seletivos, alto degrane das panículas, dormência no solo, rusticidade da planta, manejo inadequado da resteva do arroz (PINTO e tal., 2004) e suas sementes são capazes de durar longos períodos sem germinar, até que haja alguma operação no solo ou que se apresente uma condição ideal para romper a dormência e então a semente germinar (ANDRES, 2001). As áreas do Rio Grande do Sul estão sob uma alta pressão de infestação por arroz vermelho (THEISEN, 2013) e por isso, a dificuldade em combatê-lo é maior.



**Figura 1:** Regiões orizícolas do Rio Grande do Sul  
Fonte: KLERING et al., 2013.

A competição por nutrientes e luz causa grandes perdas a cultura do arroz e de acordo com várias linhas de pesquisas, para cada panícula de arroz-vermelho encontrada por  $m^2$ , há uma redução na produtividade de 16 a 18  $kg \cdot ha^{-1}$  (PINTO et al., 2004). O pousio e o rodízio das áreas auxiliam na redução da incidência de plantas daninhas, sendo que algumas dessas áreas no período do inverno são usadas para pecuária extensiva.

Segundo Verneti et al. (2009), estima-se que no ano de 2025 um hectare deverá produzir alimento para cinco pessoas, sendo que em 1960 esse mesmo hectare alimentava apenas duas pessoas. Com esse aumento da demanda por alimentos é preciso reduzir as perdas nessas áreas e diversificar o sistema de produção, aumentando a produtividade por hectare.

## 2.2 Solos de várzea do RS

Os solos de várzea, devido a características de seu relevo são geralmente planos e mal drenados e com isso, quando o solo está saturado a água ocupa

todos os poros tirando o lugar do oxigênio, praticamente inibindo a respiração de forma aeróbica, fator este que dificulta o estabelecimento de culturas que necessitam de condições aeróbicas para o seu desenvolvimento (ZANGOLLA-NETO et al., 2012)

Os principais solos encontrados nas áreas de várzeas do RS, de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos são:

- Planossolos
- Gleissolos
- Chernossolos
- Plintossolos
- Vertissolos
- Neossolos

Com aproximadamente 56% das áreas de várzeas, o Planossolo é o principal tipo de solo nesse ambiente, apresentam um horizonte B textural com acréscimo de argila normalmente lixiviadas do horizonte A e possuem uma mudança de textura abrupta geralmente caracterizados por cores acinzentadas (PINTO, 2004).

Os Planossolos hidromórficos ocupam 48,2% das áreas de várzea e são os mais utilizados com a cultura do arroz irrigado no estado, são caracterizados por serem encontrados em áreas baixas, planas e susceptíveis ao alagamento, seja ele temporário ou permanente. Já o Planossolo háplico com 7,8% das áreas de várzea é pouco utilizado para a cultura orizícola, devido a presença de argilo-minerais expansivos que o dão características plásticas e pegajosas, dificultando assim a realização de operações (PINTO, 2004).

Ocupando 7,05% das áreas de várzea do estado os Gleissolos e de modo geral aparecem em áreas mais baixas do que os Planossolos e não apresentam horizonte B textural. Os Gleissolos Melânicos (2,17%) possuem uma profundidade média, a drenagem natural é deficitária com uma permeabilidade muito baixa, são altamente plásticos e pegajosos e como são muito baixos o lençol freático fica próximo da superfície, o que facilita o alagamento em épocas de chuvas.

Gleissolos Hápicos (4,88%) são caracterizados pelo acúmulo de água no solo, o que praticamente inviabiliza a implantação de outras culturas a não ser

arroz irrigado, no entanto, se bem drenados e sistematizados pode-se obter bom rendimentos com outras culturas (PINTO, 2004).

Chenossolos ocupam 11,93% do ambiente várzea do estado, são caracterizados por terem um horizonte B incipiente com argilas de alta atividade, encontrados em relevos planos da região da Fronteira Oeste, sua cor característica é preta e são naturalmente férteis, com isso dão origem as melhores pastagens nativas. No entanto suas propriedades físicas são limitantes, pois possuem argilas altamente expansivas e pegajosas quando saturados, dificultando a realização das operações (PINTO, 2004).

Encontrado somente no estado os Plintossolos cobrem 7,89% da área de várzea, apresentam horizontes mosqueados, são profundos, devido a concreções do ferro com a alternância de períodos úmidos e secos, há a formação de plintitas que são nódulos que quando secos são duros. A fertilidade natural desses solos é baixa, pouca matéria orgânica e de textura arenosa (PINTO et al., 2004).

Com a menor representação no ambiente de várzea os Vertissolos ocupam 1,40%, são extremamente duros quando secos e muito plástico e pegajosos quando úmidos, possuem uma boa fertilidade natural, são mal drenados e pouco profundos.

Os Neossolos caracterizam-se por apresentarem apenas as camadas A e C, o horizonte A é rico em matéria orgânica, possuem o nível do lençol freático próximo a superfície, o que dificulta a drenagem. A profundidade do perfil é média a baixa, a fertilidade natural de baixa a alta e podem possuir elevados níveis de alumínio trocáveis, sendo que estes solos correspondem a 11,55% das áreas, porém em terços superiores da paisagem, na parte superior das áreas de várzea, mas ainda cultivados com arroz irrigado.

## **2.3 Atributos físicos de solos de várzea**

Os solos de várzea representam 20% da área do estado, são áreas de modo geral planas, mecanizáveis e de fácil irrigação, são solos que apresentam uma vasta gama de morfologias, tanto física, química e mineralógica. Possuem características específicas como densidade e relação micro/macroporos elevadas,

vários graus de hidromorfismo e dificuldade de drenar a água da superfície (GOMES et al., 2006).

Segundo Pauletto et al. (2004), o alagamento do solo pode causar uma mudança na sua estrutura, já que nessa condição a água ocupa todos os macro e microporos e com o solo saturado pode haver um rearranjo e a destruição dos poros, causando uma redução na aeração e um aumento de sua densidade.

### **2.3.1 Compactação**

O impacto da gota de chuva é considerado uma forma de compactação e de desagregação natural do solo e quando a gota de chuva encontra o solo sem cobertura vegetal, ela causa uma desagregação das partículas e seu impacto gera um incremento na densidade do solo, fazendo com que as partículas de argilas desçam e alojem-se nos microporos, causando o selamento superficial. Esse selamento dificulta a emergência de plântulas e reduz a infiltração de água (REICHART et al., 2005).

A compactação vem se destacando como principal limitante da qualidade física do solo, o tráfego de máquinas e as operações realizadas no solo geram um acréscimo de tensões formando uma camada compactada em subsuperfície (REICHART et al., 2005). Essas camadas são facilmente encontradas em áreas de várzeas cultivadas com arroz irrigado, e de certa forma são benéficas para o desenvolvimento desta cultura, pois reduzem o consumo de água e a lixiviação de nutrientes (PAULETTO et al., 2004). No entanto, a principal causa do insucesso da implantação de culturas de sequeiro em ambientes de várzea é a presença da mesma, que reduz o perfil para o desenvolvimento radicular, e diminui a infiltração (PAULETTO et al., 2004).

A compactação afeta diretamente vários atributos do solo como a condutividade hidráulica, infiltração, permeabilidade, densidade, porosidade e aeração, fatores estes que indicam o estado do solo.

### **2.3.2 Densidade e porosidade**

Camadas compactadas são encontradas na maioria dos solos cultivados e, podem variar de acordo com o teor de matéria orgânica, textura e intensidade dos cultivos (REICHART et al., 2003). Com o incremento das camadas adensadas a porosidade é reduzida significativamente em quantidade e na continuidade dos poros, sendo os macroporos, que são responsáveis pela infiltração de água e aeração do solo os mais afetados. Segundo Pauletto et al. (2004), é importante que o solo tenha pelo menos 10% de seu volume ocupado pelo ar e uma relação micro/macroporo de 2:1.

### **2.3.3 Condutividade hidráulica**

A condutividade hidráulica é a relação entre o volume de água que passa por uma unidade de solo, em um determinado tempo. Esse processo é influenciado por alguns fatores como a textura do solo, tipo de argila presente, tamanho dos poros, entre outros. No ambiente de várzea, a baixa estabilidade dos agregados ocasiona uma elevada quantidade de argila em suspensão na água e essas argilas ao poucos vão se depositando e obstruindo os poros superficiais do solo, causando um selamento superficial, fator este que reduz a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água no solo, causando a formação de uma lâmina de água no solo ou escoamento superficial (PAULETTO et al.,2004).

## **2.4 Rotação de culturas em áreas de várzea**

A rotação de cultura de modo geral é uma importante ferramenta para o sucesso dos sistemas produtivos, pois auxilia no controle de doenças com a quebra dos ciclos, possibilita a ciclagem de nutrientes através dos diferentes enraizamentos e reduz a infestação de plantas daninhas. Nas áreas de várzea a

rotação é o método mais eficiente para o combate ao arroz vermelho, que é a principal planta daninha do arroz irrigado (SHOENFELD, 2010). Para implantação de um sistema de rotação de culturas em áreas de várzea é necessário observar alguns cuidados como: escolha da cultivar que deve ser a mais tolerante possível ao estresse hídrico, principalmente ao alagamento; época de semeadura; população de plantas; espaçamento entre linhas; escolha da área, dentre outros (PARFITT et al., 2003).

O cronograma das sucessões de culturas é fundamental para o planejamento da área, visto que, nem todas as culturas produzirão renda, algumas terão a função de ciclar os nutrientes do solo e contribuir com o aporte de matéria orgânica para o próximo cultivo (VERNETTI & GOMES, 2009 b). Na rotação de culturas, o uso de cultivares de milho ou soja resistentes ao herbicida glifosato (RR) é um facilitador no controle das plantas daninhas, visto que seu uso não afeta o desenvolvimento da cultura e ao mesmo tempo é eficiente no combate as plantas.

## **2.5 Panorama do milho**

Atualmente o milho é responsável por 30% da produção mundial de grãos, seu maior produtor é os EUA que destina grande parte de sua produção para a fabricação do etanol. O Brasil é terceiro maior produtor e a área plantada aumentou 20,5% do ano 2000 para o ano de 2013. No Rio Grande do Sul, o milho é responsável por 20% da área cultivada no verão, sendo a maioria de seus produtores oriundos da agricultura familiar (EMBRAPA, 2013).

## **2.6 Milho em áreas de várzea**

A implantação da cultura do milho em solos hidromórficos necessita de cuidados especiais, pois as condições físicas desse ambiente são naturalmente desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura. Faz-se necessário o conhecimento

da cultura e suas demandas como época de plantio adequada, eficiência dos drenos, sejam eles superficiais ou subsuperficiais, uso de cultivar mais adaptada, escolha da área, época de colheita (VERNETTI & GOMES, 2009 b).

A temperatura ideal para o desenvolvimento da cultura é entre 24°C e 30°C. sendo que abaixo de 10°C ou acima de 30°C, a planta praticamente cessa o seu desenvolvimento. A época de semeadura influencia diretamente na temperatura que a cultura será exposta. No Rio Grande do Sul, recomenda-se a semeadura entre os meses de agosto e setembro, fazendo com que a época da floração coincida com os dias mais longos. A profundidade da semeadura deve ser adequada conforme as condições de temperatura e umidade do solo, para temperaturas mais baixas e uma boa umidade do solo a semente pode ser depositada entre 3 e 5 cm (CRUZ et al., 2006). Nos estágios iniciais do estabelecimento da cultura, o milho é muito sensível ao encharcamento, apenas um dia com o solo saturado já pode ser o suficiente para a morte da planta (EMBRAPA, 2013).

## **2.7 Hipoxia**

Solos cultivados com arroz irrigado geralmente sofrem alterações em sua estrutura que modificam seu arranjo inicial. A nível macroscópico essas mudanças são causadas pelas sucessivas operações realizadas geralmente com uma condição de umidade inadequada, gerando uma camada compactada em subsuperfície.

Essa camada favorece o acúmulo de água e a redução do oxigênio no solo. Com um ambiente anaeróbico, a atividade microbiana é reduzida e com isso ocorre uma redução da decomposição da matéria orgânica, e um acúmulo de carbono preso a matéria orgânica (KIRK, 2004).

A absorção de nutrientes fica prejudicada em ambientes com baixas concentrações de oxigênio. A deficiência de oxigênio reduz a fotossíntese e a geração de energia, o que reduz o transporte de nutrientes. Ambientes anaeróbicos estimulam o desenvolvimento do etileno, que é responsável por estimular a

produção de aerênquimas, que é a principal adaptação das raízes para o desenvolvimento em ambientes com deficiência de oxigênio (WEISEL et al., 2002).

## **2.8 Alterações na estrutura do solo provocadas pelo manejo**

A crescente demanda por alimentos e a redução das áreas de espaço agrícola, fará com que alguns conceitos sejam revistos no que diz respeito ao modo de produção e na sustentabilidade do mesmo (Verneti et al., 2009 a). O método de cultivo convencional das áreas de várzea vem perdendo produtividade devido a uma grande infestação de plantas daninhas, e as sucessivas operações de gradagens para o preparo do solo geraram uma camada compactada em subsuperfície. Camada essa que dificulta a passagem de água, o que para o arroz irrigado não é nenhum dano, pelo contrário, reduz a demanda de água e diminui a lixiviação de nutrientes (PINTO et al., 2004). Porém, a presença dessa camada compactada reduz a infiltração de água, e as áreas de várzea geralmente possuem uma baixa declividade o que dificulta o escoamento da água, com isso, a camada superficial do solo permanece saturada por um período maior, reduzindo a aeração do solo e com isso dificultando o estabelecimento de culturas de sequeiro como milho, soja e sorgo.

Para Marchesan et al. (2013), o uso da escarificação para romper a camada compactada proporcionou um melhor desenvolvimento do sistema radicular e uma absorção de nutrientes mais eficiente. O manejo do solo deve intervir na condição atual do solo de modo a produzir um ambiente propício para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, de modo a promover a aeração do solo de forma rápida mesmo em condições de precipitações elevadas.

Outro método é o uso de camalhões, visando a redução do tempo no qual o solo fica saturado, esse método pode ser outra alternativa para promover um ambiente com maior aeração para o sistema radicular das culturas (SILVA et al., 2007).

### 3. METODOLOGIA

O experimento foi executado no município de Alegrete, região fisiográfica da Fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul (RS). A área experimental localiza-se na Agropecuária Boa Esperança, a uma altitude de 110 metros, latitude 29°48'07,90"S e longitude 55°38'22,60"O. O clima da região, segundo a classificação de KÖEPPEN (MORENO, 1961) é do tipo cfa-subtropical úmido, sem estação seca e com temperaturas médias em 14,3°C no período do inverno e 26,3°C no período do verão, com uma precipitação anual média de 1400 mm. O solo da área experimental é classificado como Gleissolo Melânico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

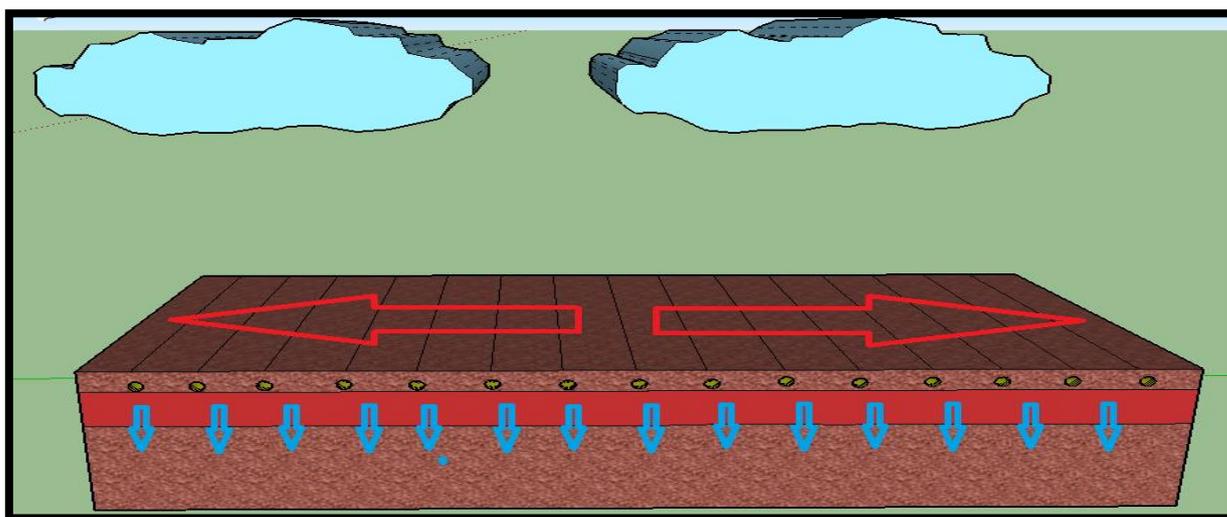
O experimento foi disposto em um delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições e quatro tratamentos de preparo de solos: convencional, escarificado, camalhão e escarificado com camalhões. Cada parcela contou com uma área de 32m<sup>2</sup> (4x8) onde foram semeadas 8 linhas espaçadas de 50 (cinquenta) centímetros e com comprimento 8 (oito) metros.

Como fonte de potência para a realização das operações foi utilizado um trator Massey Ferguson modelo MF 297. Os sistemas de manejo foram estruturados da seguinte forma: no sistema convencional (T1) o solo foi nivelado com grade niveladora. Esse manejo foi comum a todos os tratamentos para haver uma padronização da área. O sistema escarificado (T4) contou com uma escarificação do solo a uma profundidade de 30 cm aproximadamente, sendo a semeadura nesses dois sistemas realizada por uma semeadora SAM200 acoplada ao trator MF 297.

O sistema de cultivo em camalhões (T2) foi implementado com o uso de uma semeadora KF 8/5 camalhoneira, que tem a função de criar o camalhão, semear e adubar em uma única operação. O tratamento (T3) visa agregar as duas formas de manejo anteriormente descritas, onde a área foi escarificada com profundidade de aproximadamente 30 cm e com espaçamento entre hastes de 50 cm, e logo após semeado com a semeadora KF 8/5 camalhoneira. A cultivar de milho utilizada foi a Syngenta Maximus Viptera PRO3. A execução dos manejos de solo e a semeadura do experimento ocorreram no dia 07 de dezembro de 2015. A adubação de base foi de 300 kg.ha<sup>-1</sup> com a formulação 5:20:20 e os complementos

de Nitrogênio foram parcelados em duas etapas com  $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , os tratos culturais foram realizados de acordo com a recomendação técnica para a cultura do milho, e não houve diferença entre os tratamentos.

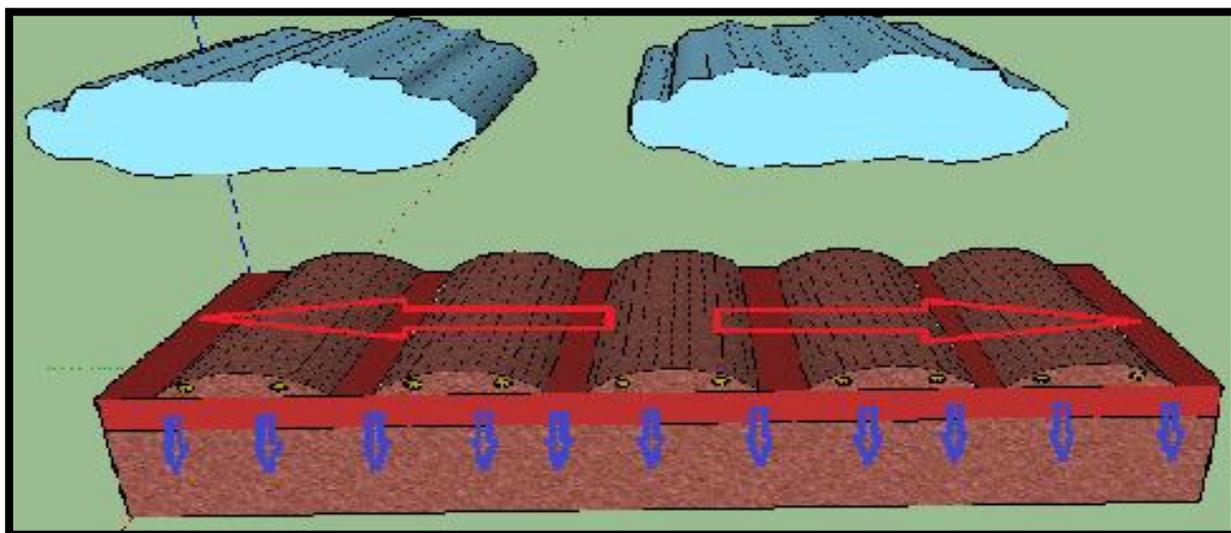
As figuras a seguir ilustram a estruturação do solo almejada pelos diferentes tratamentos. A Figura 2 ilustra a estruturação do solo almejada com o sistema de preparo convencional, no qual julgava-se a existência de uma camada compactada em subsuperfície, reduzindo a taxa de infiltração. A semeadora causa uma pequena mobilização de solo apenas na camada superficial, não chegando a intervir na camada compactada e com isso, a quantidade de solo disponível para ser explorada pela raiz e a quantidade de água armazenada pelo solo são reduzidas. Como a água tem dificuldade para passar pela camada compactada, a camada superior do perfil ficará por um maior tempo na condição de saturação ou até mesmo com uma lâmina d'água na sua superfície, o que dificulta a aeração do solo causando estresse hídrico ou morte da planta de acordo com a intensidade do evento pluviométrico.



**Figura 2:** Semeadura e preparo do solo convencional (T1). Fonte: CHAIBEN, 2015.

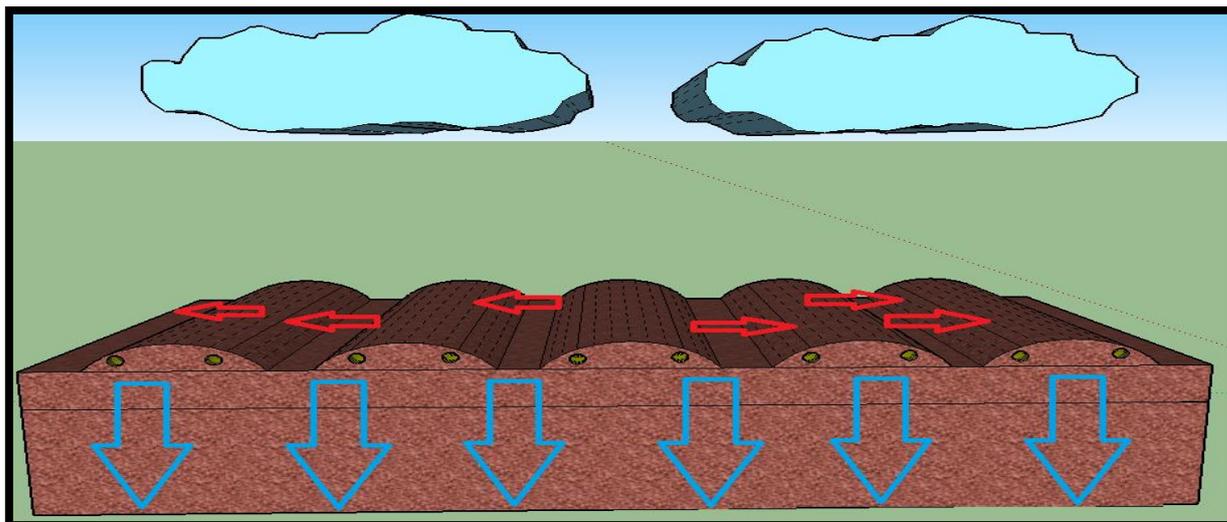
A Figura 3 ilustra a estruturação do solo almejada com o sistema de preparo em camalhão, no qual existe a presença da camada compactada em subsuperfície, reduzindo a taxa de infiltração. No entanto, a semeadora camalhoneira gera uma mobilização de solo formando um camalhão, que eleva o sistema radicular das plantas e melhora a aeração na camada superficial. Essa operação também não remove a camada compactada e com isso a quantidade de

água armazenada pelo solo é reduzida e o espaço para o desenvolvimento das raízes é melhor em comparação com T1 mas ainda limitado pela camada compactada. Como a água tem dificuldade para passar pela camada compactada, a camada superior do perfil ficará na condição de saturação ou até mesmo com uma lâmina d'água na sua superfície, no entanto como houve uma elevação do sistema radicular esse tempo de exposição ao excesso de água será menor se comparado ao T1.



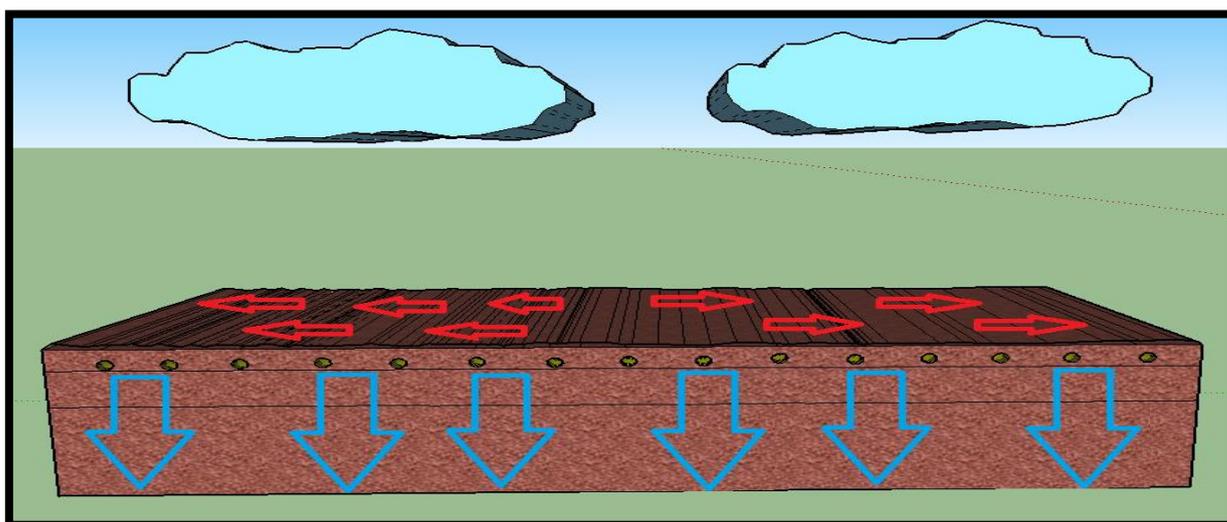
**Figura 3:** Semeadura e preparo do solo em camalhões (T2). Fonte: CHAIBEN, 2015.

A Figura 4 ilustra a estruturação do solo almejada com o sistema de preparo escarificado e a semeadura em camalhões, no qual a camada compactada em subsuperfície foi removida, favorecendo a taxa de infiltração, aumentando a quantidade de solo disponível para ser explorada pelo sistema radicular que foi elevado pelo uso de camalhões e a quantidade de água armazenada pelo solo será maior, pois o mesmo irá infiltrar mais água. Com a infiltração elevada e o sistema radicular elevado o tempo de exposição ao stress hídrico será menor comparado aos demais tratamentos, favorecendo a aeração do solo e o desenvolvimento da cultura.



**Figura 4:** Semeadura e preparo do solo escarificado + camalhões (T3). Fonte: CHAIBEN, 2015.

A Figura 5 ilustra a estruturação do solo almejada com o sistema de preparo escarificado, no qual a camada compactada em subsuperfície foi removida, favorecendo a taxa de infiltração, aumentando a quantidade de solo disponível para ser explorada pelo sistema radicular e a quantidade de água armazenada pelo solo será maior, pois o mesmo irá infiltrar mais água. Com a infiltração elevada, o tempo de exposição ao estresse hídrico será menor, favorecendo a aeração do solo.



**Figura 5:** Semeadura e preparo do solo escarificado (T4). Fonte: CHAIBEN, 2015.

### **3.1 Análises de solo**

As coletas de solo para análise foram realizadas na semeadura e após eventos de grande magnitude (35 dias após semeadura). As profundidades coletadas foram de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm.

#### **3.1.1 Densidade e porosidade do solo**

A macroporosidade ou porosidade de aeração foi calculada pelo volume de água retirado da amostra (coletada com anel metálico) em coluna de areia (REINERT & REICHERT, 2006) desde a saturação até a tensão a 6 kPa e, a microporosidade, foi calculada pelo restante de água que ficou retida na amostra, e posteriormente extraída em estufa a 105 C°, por 24 horas; já a densidade do solo foi determinada pela relação entre a massa de solo seco e o volume do anel.

#### **3.1.2 Infiltração de água do solo**

A capacidade de infiltração de água no solo foi determinada pelo método dos anéis concêntricos. Este consiste na inserção, na superfície do solo, de dois cilindros concêntricos com diâmetros diferentes. Esse arranjo resulta na delimitação de dois compartimentos que serão preenchidos com água: o compartimento externo, delimitado pela parede interior do cilindro de maior diâmetro e pela parede exterior do menor cilindro, e o compartimento interno, totalmente delimitado pela parede interior do cilindro menor. Durante a execução do ensaio, a água infiltrada no solo a partir do compartimento externo apresenta uma tendência natural de fluir vertical e lateralmente. A saturação do solo nas porções imediatamente abaixo do compartimento externo permite que a água infiltrada a partir do compartimento interno infiltre predominantemente segundo a direção vertical. Foi determinada a quantidade de água que infiltra no cilindro

interno, através da realização de leitura de tempos em tempos previamente definidos.

### **3.1.3 Condutividade hidráulica**

As amostras com estrutura preservada foram saturadas e levadas a um permeâmetro de carga constante (EMBRAPA, 1997). Foram realizadas três determinações do volume de água percolada nas amostras em intervalos de cinco minutos após o início da percolação.

## **3.2 Análises de planta**

Como forma de avaliar o desenvolvimento nos diferentes tratamentos foram feitas as seguintes análises da cultura ao longo do desenvolvimento.

### **3.2.1 População de plantas estabelecidas**

Com o intuito de avaliar a influência dos tratamentos na população de plantas da cultura do milho, foi quantificado o número de plantas por metro linear de cada parcela. Para uma melhor representação do efeito dos manejos e para se ter uma quantificação fiel a realidade, foram quantificadas todas as plantas que estavam dentro dos limites de cada parcela.

### **3.2.2 Índice de clorofila**

A quantidade de clorofila presente na folha auxilia na análise do desenvolvimento da cultura. O índice de clorofila foi medido com auxílio de um medidor eletrônico do teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030 – FALKER, 2008) portátil. Para cada parcela foram analisadas três folhas por planta e cinco plantas por unidade. O índice de clorofila na folha foi avaliado no estágio de desenvolvimento V5.

### **3.2.3 Rendimento de grãos:**

A colheita foi realizada em toda a parcela e as espigas foram trilhadas e separadas para a determinação do rendimento.

## **3.3 Análises estatísticas**

O método estatístico adotado foi o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições e quatro tratamentos. Quando os efeitos dos tratamentos foram significativos a 5% de probabilidade de erro, as diferenças entre as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com as análises realizadas ao longo do desenvolvimento do experimento, foi possível conhecer melhor a dinâmica dos processos físicos envolvidos e como se comportam em resposta aos diferentes manejos realizados e assim, verificar um indicativo para o uso da cultura do milho nessas áreas, visto que é um produto de boa comercialização e o qual há um déficit de produção para o mercado local, onde a maior parte do milho que abastece região da Fronteira Oeste vem de outras partes do estado.

Na Tabela 1 são apresentados os dados referentes a precipitação ocorrida durante o período do cultivo e a média mensal dos últimos 30 anos.. A média de precipitação mensal foi obtida junto ao site Clima Tempo.

**Tabela 1:** Dados de precipitação em mm para o período de cultivo do milho em área de várzea durante a safra 2015/2016 em Alegrete RS.

Messes de cultivo	Precipitação (mm)	
	Período de cultivo	Média de 30 anos
<b>Dezembro</b>	422,2	126
<b>Janeiro</b>	108,8	135
<b>Fevereiro</b>	158,6	138
<b>Março</b>	135	160
<b>Abril</b>	235	126
<b>Mai</b>	101,8	131

No mês de dezembro de 2015 após a semeadura do experimento que ocorreu no dia 07 houve uma precipitação de 396 mm durante o restante do mês. Esse volume é três vezes maior do que a média registrada para todo o mês de dezembro. Essa elevada precipitação fez com que o solo ficasse 20 dias com uma elevada umidade e eventualmente com lamina d'água na superfície. Tal excesso de água no período inicial do desenvolvimento da cultura é extremamente prejudicial ao estabelecimento da cultura do milho (EMBRAPA, 2013).

A textura é uma das características físicas do solo, mais estáveis e representa a distribuição das partículas de solo, em um determinado volume. Devido a sua grande estabilidade, a textura é uma característica fundamental na caracterização de um perfil de solo. Os teores de Argila, Silte e Areia determinam a

textura e são classificados pela Sociedade Brasileira Ciência do Solo de acordo com seus tamanhos partículas (FERREIRA et al, 2010).

A análise da textura do solo da área experimental apresentou os teores de 450, 380 e 170 ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) para argila, silte e areia respectivamente. Segundo Embrapa (2006), a textura do solo foi classificada como argilosa “pesada” e de modo geral, solos com essa classificação possuem uma baixa condutividade e uma alta retenção de água, são menos susceptíveis a erosão, porém são facilmente compactados.

#### **4.1 Atributos físicos do solo**

Os atributos físicos do solo são relacionados a estrutura com a qual as partículas do solo estão arranjadas. A densidade, macro e microporos, textura, e condutividade são alguns dos principais indicadores físicos. De modo geral, os solos de várzea do RS apresentam uma condição desfavorável para o cultivo de culturas de sequeiro (GOMES et al., 2006). Solos com uma textura mais argilosa, potencialmente terão uma maior quantidade de microporos, que são responsáveis pela retenção de água no solo e para possuírem elevada quantidade de macroporos, necessitam ser muito bem estruturados, o que dificilmente acontece, devido as sucessivas mobilizações. Além disso, com uma menor quantidade de macroporos a taxa infiltração fica comprometida, levando a uma menor velocidade de infiltração em áreas de várzea que geralmente são baixas e planas. Isso resulta em um maior tempo com a água na superfície do solo, e com isso a aeração das raízes fica comprometida, prejudicando o desenvolvimento das plantas (FERREIRA et al., 2010).

A Tabela 2 apresenta os dados da primeira coleta, realizada no dia 7 de dezembro de 2015, no qual foram feitos os quatro manejos de solo e logo após a semeadura do experimento. Na Tabela 3 estão representados os coeficientes de variação resultantes da comparação de cada tratamento nas diferentes profundidades analisadas.

**Tabela 2:** Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) de um Gleissolo Melânico sob diferentes manejos do solo, em dezembro de 2015, após operações de preparo e semeadura. Alegrete, RS.

Tratamentos	Densidade		Porosidade		Microporo		Macroporo	
	(g/cm <sup>3</sup> )		(%)		(%)		(%)	
----- 0,0 a 5,0 cm -----								
T1	1,351	a B	50,1	a **	37,8	a **	12,3	a **
T2	1,285	a **	55,9	a **	40	a **	15,9	a **
T3	1,269	a **	57,9	a **	41,1	a **	16,8	a **
T4	1,221	a B	57,9	a A	42,1	a **	15,9	a A
Cv (%)	10,29		9,88		9,93		43,2	
----- 5,0 a 10,0 cm -----								
T1	1,569	a A	44,9	a	35,8	a	9,1	b
T2	1,322	b	54	a	36,9	a	17,1	a
T3	1,532	a	46	a	35,9	a	10,1	ab
T4	1,364	b AB	52,2	a AB	37,7	a	14,5	ab AB
Cv (%)	8		10,79		9,36		27,14	
----- 10,0 a 20,0 cm -----								
T1	1,507	* A	45,7	*	37,2	*	8,5	*
T2	1,421		48,4		39,4		9	
T3	1,489		47,5		37,6		9,9	
T4	1,479	A	46	B	36,1		9,9	AB
Cv (%)	12,95		16,06		18,95		17,94	
----- 20,0 a 30,0 cm -----								
T1	1,437	* AB	46,5	*	37,6	*	8,8	*
T2	1,429		49,1		37,1		11,9	
T3	1,461		49,2		38,6		10,5	
T4	1,504	A	48,9	B	39,5		9,4	B
Cv (%)	14,08		16,77		19,24		23,55	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); \* Nenhum tratamento difere significativamente na mesma coluna. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nas diferentes profundidades de cada tratamento. \*\* Nenhum tratamento difere significativamente na mesma coluna para o teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tratamentos:** T1= Preparo do solo Convencional T2 = Preparo do solo em camalhões T3 = Preparo do solo escarificado e Camalhões T4 = Preparo do solo escarificado.

**Tabela 3:** Coeficientes de variação resultantes da primeira análise de solo, realizada para cada tratamento nas diferentes profundidades.

Tratamentos	Densidade	Porosidade	Microporo	Macroporo
	Cv(%) entre profundidades no mesmo tratamento			
T1	4,70	8,64	11,90	20,06
T2	9,93	9,08	11,38	33,55
T3	8,64	10,88	11,40	33,50
T4	7,61	7,51	11,11	23,21

**Tratamentos:** T1= Preparo do solo Convencional T2 = Preparo do solo em camalhões T3 =Preparo do solo escarificado e Camalhões T4 = Preparo do solo escarificado

Para os quatros tratamentos nesta primeira fase, logo após a realização dos manejos de solo, não houve diferença significativa para a densidade relativa do solo nas camadas inferiores a 10 cm. Já nas camadas superiores, houve uma diferença significativa para os tratamentos T2 e T4 na profundidade de 5 a 10 cm, que apresentaram uma menor densidade, e com isso uma maior porosidade total, sendo que o tratamento T2 obteve a maior quantidade de macroporos. Este atributo é de fundamental importância para o desenvolvimento da cultura, pois é ele o responsável pela rápida infiltração da água, e pela aeração do perfil de solo. Estudos comprovam que uma quantidade de macroporos inferior a 10% da porosidade total é prejudicial ao desenvolvimento das culturas, devido a pouca disponibilidade de oxigênio para as raízes das culturas (FERREIRA, 2010).

Nessa fase inicial do desenvolvimento da cultura na camada de 0 a 5 cm os tratamentos não apresentaram uma diferença significativa nos atributos analisados, sendo que todos obtiveram uma macroporosidade superior a 10%. Já na segunda camada houve uma diferença significativa entre os tratamentos, sendo o T2 o que obteve o melhor resultado para a aeração do solo e T1 apresentou a aeração abaixo do mínimo estipulado para não comprometer o desenvolvimento da cultura.

No dia 11 de janeiro ocorreu a segunda coleta de solo, com o objetivo de avaliar a reorganização estrutural do solo após a expressiva precipitação de 462 mm que ocorreu durante o intervalo entre as coletas. A Tabela 4 mostra os dados obtidos após os procedimentos realizados no Laboratório Solos. Na Tabela 5 estão representados os coeficientes de variação resultantes da comparação de cada tratamento nas diferentes profundidades analisadas.

**Tabela 4:** Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) de um Gleissolo Melânico sob diferentes manejos do solo, após 35 dias das operações de preparo e semeadura. Alegrete, RS.

Tratamentos	Densidade		Porosidade		Microporo		Macroporo		
	(g/cm <sup>3</sup> )		(%)		(%)		(%)		
----- 0,0 a 5,0 cm -----									
T1	1,255	* B	54,9	* A	40,78	* A	14,13	* A	
T2	1,243	B	57,52	A	43,42	A	14,1	A	
T3	1,271	C	54,75	A	41,11	**	13,64	A	
T4	1,197	C	57,6	A	39,03	**	18,57	A	
Cv (%)	8,36		6,43		6,41		26,23		
----- 5,0 a 10,0 cm -----									
T1	1,443	* A	48,74	* B	37,72*	* AB	11,02	* B	
T2	1,457	A	46,79	B	38,32	AB	8,47	B	
T3	1,425	B	50,01	AB	38,48		11,53	AB	
T4	1,364	BC	49,85	B	39,94		9,91	B	
Cv (%)	5,43		4,57		7,92		23,91		
----- 10,0 a 20,0 cm -----									
T1	1,566	* A	45,03	* BC	35,16	* AB	9,86	* **	
T2	1,59	A	42,93	B	35,47	B	7,46	**	
T3	1,532	A	45,46	BC	37,1		8,36	**	
T4	1,522	AB	45,38	BC	35,89		9,49	**	
Cv (%)	5,36		7,63		7,26		22,27		
----- 20,0 a 30,0 cm -----									
T1	1,581	* A	42,36	* C	32,79	* B	9,57	*	
T2	1,582	A	42,57	B	33,18	B	9,39		
T3	1,551	A	44,79	C	35,66		9,13		
T4	1,6	A	42,15	C	33,55		8,6		
Cv (%)	4,81		9,76		12,19		17,49		

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); \*Nenhum tratamento difere significativamente na mesma coluna. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nas diferentes profundidades de cada tratamento. \*\* Nenhum tratamento difere significativamente na mesma coluna para o teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tratamentos:** T1 = Preparo do solo Convencional, T2 = Preparo do solo em camalhões, T3 = Preparo do solo escarificado e Camalhões, T4 = Preparo do solo escarificado.

**Tabela 5:** Coeficientes de variação resultantes da segunda análise de solo, realizada para cada tratamento nas diferentes profundidades.

Tratamentos	Densidade	Porosidade	Microporo	Macroporo
	Cv(%) entre profundidades no mesmo tratamento			
<b>T1</b>	5,53	5,26	7,02	9,82
<b>T2</b>	5,92	7,02	7,16	18,60
<b>T3</b>	2,88	4,47	7,85	19,17
<b>T4</b>	7,08	9,76	12,19	17,49

**Tratamentos:** T1= Preparo do solo Convencional T2 = Preparo do solo em camalhões T3 =Preparo do solo escarificado e Camalhões T4 = Preparo do solo escarificado

Nesta fase não houve diferença significativa entre os tratamentos para o teste Tukey ( $p < 0,05$ ), já na análise de cada tratamento nas suas profundidades houve diferença significativa entre eles. De maneira geral os resultados foram coerentes, visto que a densidade aumenta com o aumento da profundidade e a aeração reduz. Até 10 centímetros de profundidade os tratamentos apresentaram relativamente uma boa aeração mantendo sua macroporosidade acima de 10%, que segundo Ferreira (2010) é o limite inferior para o desenvolvimento das raízes. Para profundidades maiores que 10 centímetros todos os tratamentos apresentaram uma aeração deficitária dificultando o desenvolvimento das raízes nessas profundidades.

## 4.2 Taxa de infiltração

A Infiltração é meio pelo qual o solo recarrega sua quantidade de água, que fica disponível para as plantas e mantém as demais etapas do ciclo hidrológico. A taxa com que a infiltração acontece depende do tipo de solo e com o passar do tempo essa taxa vai diminuindo até estabilizar em um valor praticamente constante (POTT, 2001).

Para Nunes et al. (2012) a velocidade de infiltração é diretamente relacionada com a textura do solo, e pode variar de acordo com a umidade inicial, temperatura do solo e com a presença de alguma camada menos permeável no solo.

A taxa de infiltração foi calculada com o volume infiltrado no cilindro interno em um determinado tempo e cada parcela recebeu 4 ensaios de infiltração com duração de 2 horas cada um. A partir destes ensaios de infiltração (64 no total), elaborou-se um gráfico relacionando a taxa de infiltração com o tempo. Do gráfico foi extraído uma equação que representa a curva de infiltração por tratamento para cada bloco. Essa equação foi extrapolada para um tempo de 3 horas simulando a Velocidade básica de infiltração. Com isso, utilizou-se o mesmo delineamento do restante do experimento e os resultados são apresentados na tabela 6.

**Tabela 6:** Infiltração de água no solo ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) realizados nos dia 11 de dezembro de 2015 e 14 de janeiro de 2016, utilizando o método dos anéis concêntricos.

Tratamentos	Taxa de infiltração					
	1ª Fase		2ª Fase		Cv(%)	
	----- ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) -----					
T1	1,29	b A	3,46	a A	90,3	
T2	2,07	b A	2,37	a A	93,43	
T3	22,02	a A	8,06	a A	74,64	
T4	4,18	ab A	15,52	a A	102,33	
<b>Cv (%)</b>	119,44		147,62			

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nas diferentes fases de cada tratamento.

**Tratamentos:** T1 = Preparo do solo Convencional, T2 = Preparo do solo em camalhões, T3 = Preparo do solo escarificado e Camalhões, T4 = Preparo do solo escarificado.

Na primeira fase os tratamentos T1, T2 e T4 não apresentaram diferença significativa para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), sendo que ambos apresentaram uma baixa velocidade de infiltração básica (VIB) com menos de  $5 \text{ mm.h}^{-1}$ . Já o tratamento T3 que recebeu duas operações de manejo de solo, apresentou uma boa quantidade de macroporos nas camadas, obteve uma melhor VIB classificada como alta (MONTOVAN et al., 2013).

Na segunda fase não houve diferença significativa entre os tratamentos, T1 e T2 mantiveram sua baixa VIB com menos de  $5 \text{ mm.h}^{-1}$ , o tratamento T3 apresentou uma redução na sua macroporosidade. Essa redução pode ter resultado em uma camada de impedimento para a passagem da água, com isso ocorreu uma redução na sua VIB para média. O T4 apresentou uma alta macroporosidade nas camadas superficiais, esse aumento na porosidade pode ter

contribuído para o aumento da VIB de baixa para alta. (MONTOVAN et al., 2013). Comparando as duas fases não houve diferenças significativas entre elas, e os coeficientes de variação encontrados foram elevados.

Em ambas as fases, ocorreu de um tratamento infiltrar consideravelmente mais que os outros, sendo na primeira o tratamento T3 e na segunda o tratamento T4. Como ambos os tratamentos foram escarificados a água pode ter achado alguma fenda ou caminho com menos impedimento para infiltrar (fluxo preferencial de água no solo). No T3, como na primeira etapa o solo foi bastante revolvido e foi feito o camalhão, pode ter ocorrido um escoamento sub-superficial e assim justificar essa taxa de infiltração elevada.

### **4.3 Condutividade hidráulica**

A condutividade hidráulica está diretamente relacionada com a estrutura do solo, e como estão distribuídos em macro e microporos. A densidade de fluxo que passa pelo poro é igual ao quadrado de seu diâmetro, logo em solos com maior quantidade de macroporos o fluxo de água que passará por um determinado volume será maior (STREK, 2007).

Conforme relatado por Kunz (2010), a condutividade hidráulica pode ser determinada a campo ou em laboratório, sendo que em qualquer um dos métodos pode apresentar uma grande variabilidade entre as repetições de um mesmo tratamento. Quando os ensaios são realizados em laboratório, o volume de solo é reduzido e a presença de alguma falha ou bioporo no interior da amostra pode facilitar o fluxo da água. A tabela 7 apresenta os dados obtidos após os ensaios no Permeâmetro de carga constante.

Embora os valores absolutos sejam diferentes, os tratamentos não apresentaram diferença significativa em si, para o teste de análise da variância com 5% de probabilidade de erro. Os resultados apresentaram coeficientes de variações elevados tanto para a 1ª quanto para 2ª fase das coletas. Isso reflete a variabilidade das amostras e uma certa fragilidade do método para a determinação da condutividade hidráulica em solos muito desestruturados pelo revolvimento.

**Tabela 7:** Condutividade hidráulica de um Gleissolo Melânico submetido a diferentes operações de preparo e semeadura. , Alegrete, RS.

Tratamentos	Condutividade hidráulica (mm. h <sup>-1</sup> )	
	1ª Fase	2ª Fase
	----- 0,0 a 5,0 cm -----	
T1	12,25 a	7,95 a
T2	17,70 a	27,77 a
T3	26,41 a	4,70 a
T4	12,76 a	22,47 a
Cv (%)	75,33	138,55
	----- 5,0 a 10,0 cm -----	
T1	4,06 a	3,15 a
T2	3,64 a	0,45 a
T3	10,37 a	3,69 a
T4	14,90 a	4,60 a
Cv (%)	133,14	113,25
	----- 10,0 a 20,0 cm -----	
T1	4,90 a	0,57 a
T2	12,15 a	1,03 a
T3	3,67 a	0,47 a
T4	3,37 a	1,04 a
Cv (%)	136,12	147,75
	----- 20,0 a 30,0 cm -----	
T1	4,47 a	2,25 a
T2	4,41 a	3,69 a
T3	3,60 a	0,57 a
T4	5,36 a	4,25 a
Cv (%)	34,27	178,83

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

**Tratamentos:** T1 = Preparo do solo Convencional, T2 = Preparo do solo em camalhões, T3 = Preparo do solo escarificado e Camalhões, T4 = Preparo do solo escarificado.

#### 4.4 Teor de clorofila na folha

O método utilizado para determinar o teor de clorofila na folha foi o uso de um clorofilômetro portátil o qual não é destrutivo e permite uma mensuração instantânea do teor de N na planta. Uma vantagem do uso desse equipamento é

que o mesmo mede o N associado a Clorofila, e não é influenciada pelo conteúdo de N na forma de Nitrato (ARGENTA et al., 2001).

A Tabela 8 a seguir mostra os teores de clorofila na folha para os distintos tratamentos utilizados. A medição foi realizada no estágio de desenvolvimento V5.

**Tabela 8:** Teores de clorofila na folha da cultura do Milho cultivado em solo de Várzea no município de Alegrete RS.

Tratamentos	Teor de clorofila
T1	57,89 a
T2	60,48 a
T3	60,74 a
T4	62,65 a
Cv (%)	7,78

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

**Tratamentos:** T1 = Preparo do solo Convencional, T2 = Preparo do solo em camalhões, T3 = Preparo do solo escarificado e Camalhões, T4 = Preparo do solo escarificado.

As plantas estabelecidas nos distintos tratamentos obtiveram um bom desenvolvimento, e como receberam uma adução nitrogenada igual para todos tratamentos, o teor de clorofila não apresentou diferenças significativas para o teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Porém, segundo Costa et al.(2012) que estudou o índice de clorofila na folha para a cultura do milho em rotação com forrageiras. Valores de 59,5 a 62,5 podem ser considerados adequados para a cultura. Diante disso, mesmo que a ferramenta estatística não tenha determinado a diferença entre os tratamentos, a nutrição mineral de T1 (principalmente de N) foi deficitária em relação aos demais tratamentos, provavelmente pela condição física de solo mais adversa em que a raiz da planta foi submetida.

#### 4.5 População de plantas estabelecidas

A cultura do milho é sensível a estresses tanto por excesso quanto por falta de água. A escolha da área onde será realizada a rotação com o arroz irrigado é um fator importante para o sucesso da rotação (EMBRAPA, 2013). A área destinada para a realização do experimento apresentou uma textura argilosa elevada e uma baixa declividade, o que dificulta a retirada de água do perfil tanto via infiltração quanto via escoamento superficial.

A população de plantas almejadas foi de 60.000 pl.ha<sup>-1</sup> a Tabela 9 a seguir mostra o percentual de plantas estabelecidas em cada tratamento.

**Tabela 9.** População de plantas estabelecidas 40 dias após a semeadura de milho, para uma população idealizada de 60.000 pl.ha<sup>-1</sup> em várzea sob diferentes manejos solo. Alegrete, RS.

Tratamentos	População de plantas	
	(%)	(pl.ha <sup>-1</sup> )
T1	19,67 b	11800
T2	35,03 a	21018
T3	34,50 a	20700
T4	32,98 a	19788
Cv (%)	12,11	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

**Tratamentos:** T1 = Preparo do solo Convencional, T2 = Preparo do solo em camalhões, T3 = Preparo do solo escarificado e Camalhões, T4 = Preparo do solo escarificado.

As elevadas precipitações no mês de dezembro de 2015 contribuíram para uma redução no estabelecimento da cultura. Neste mês, nas fases iniciais da cultura o solo ficou mais de 15 dias saturado. Isso prejudicou não somente a germinação, como o desenvolvimento inicial das plantas. Dessa forma, os tratamentos responderam de maneira positiva a essa situação adversa, sendo que os tratamentos T2, T3 e T4 diferiram significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) do T1, o qual foi cultivado com o uso do manejo convencional. O manejo T2 também proporcionou uma melhor aeração (Tabela 1) do solo comparado aos demais. Como o período inicial foi extremamente chuvoso, a elevação do sistema radicular aliado a uma maior aeração, pode ter favorecido os tratamentos T2 e T3.

## 4.6 Produtividade

Nos períodos iniciais à cultura do milho (até estágio V6) a planta é altamente sensível ao encharcamento, sendo que apenas um dia com a aeração comprometida já pode ser fatal para o seu desenvolvimento. Após esse período a

eventual falta de água pode ser mais prejudicial do que o próprio encharcamento (EMBRAPA, 2013).

A Tabela 10 apresenta os dados obtidos para cada tratamento considerando uma umidade da massa de grãos de 13%.

**Tabela 10:** Rendimento de grãos em Kg.ha<sup>-1</sup> para a cultura do milho na safra 2015/2016 em solo de várzea submetido a diferentes manejos. Alegrete, RS.

<b>Tratamentos</b>	<b>Produtividade</b> ( Kg. ha <sup>-1</sup> )
<b>T1</b>	2294,4 b
<b>T2</b>	4842,0 a
<b>T3</b>	4617,0 a
<b>T4</b>	4387,8 a
<b>Cv (%)</b>	22,72

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem significativamente para o teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

**Tratamentos:** T1 = Preparo do solo Convencional, T2 = Preparo do solo em camalhões, T3 = Preparo do solo escarificado e Camalhões, T4 = Preparo do solo escarificado.

O excesso de chuva na fase inicial do experimento foi altamente prejudicial ao desenvolvimento da cultura. Ainda nessa fase houve uma redução na população de plantas (tabela 6) a qual esta diretamente ligada a produtividade dos tratamentos.

Os tratamentos T2, T3 e T4 não diferiram entre si, no entanto, diferiram significativamente do tratamento T1, o qual também apresentou o menor percentual de plantas estabelecidas, e de modo geral apresentou os piores parâmetros durante todo o desenvolvimento da cultura. Mesmo não diferindo estatisticamente de T4, T2 e T3 obtiveram os melhores estabelecimentos de plantas, nesses tratamentos foi utilizado semeadura em micro camalhões, onde o mesmo auxilia em uma elevação da semente e do sistema radicular já no começo de seu desenvolvimento. Como a estatística não permite indicar qual dos tratamento obteve melhor retorno, a análise dos custos para realização do manejos de solo pode ajudar a indicar um tratamento. Para o T3, o solo foi previamente escarificado e após ocorreu a semeadura em camalhões, sendo a escarificação uma operação cara pelo elevado consumo energético e demanda de tempo e condições adequadas. No tratamento T2 ocorreu a semeadura direta em micro camalhões, reduzindo o custo com uma operação. Com isso, T2 leva uma ligeira vantagem

comparado ao T3 e T4. Além disso, o T2 apresentou a maior porcentagem de plantas estabelecidas e os parâmetros de densidade e macroporosidade analisados para este tratamento foram favoráveis ao desenvolvimento da cultura.

## 5. CONCLUSÕES

A alteração estrutural representada pela macroporosidade e a densidade do solo ocorreu nas camadas de 0-5 cm e de 5-10 cm e se manteve nas duas fases analisadas.

A escarificação nos tratamentos T3 e T4 não foram efetivas para as camadas de 10 a 20 cm e de 20 -30 cm.

A velocidade básica de infiltração não diferiu significativamente entre os tratamentos, no entanto o T3 apresentou uma VIB alta na primeira fase e média na segunda. T2 e T1 tiveram uma VIB baixa nas duas fazes, e o T4 obteve um VIB baixa na primeira fase e alta na segunda

Os tratamentos T2, T3 e T4 respectivamente apresentaram as melhores taxas de estabelecimento de plantas.

A melhor produtividade foi a do T2 com 4832,0 Kg.ha<sup>-1</sup> com influência direta da população de plantas. No entanto não diferiu de T3 e T4.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A textura do solo é um parâmetro muito importante, pois a partir é possível identificar uma pré-disposição do solo em apresentar uma maior ou menor quantidade de macro e microporos. No caso do solo da área experimental a classificação para a textura foi Argilosa (pesada), com isso o solo possui uma grande quantidade de Argila, e conseqüentemente uma grande quantidade de microporos que são responsáveis pela retenção de água no solo. De maneira geral solos com essa textura possuem uma baixa VIB, ou seja o fluxo que água que passa pelo solo é lento.

2. A meteorologia é um fator que deve ser levado em consideração na tomada de decisões para semear a cultura em um período menos chuvoso em anos com a incidência do fenômeno El Nino. Ao longo do mês de dezembro de 2015 ocorreu uma precipitação de 420 mm, quantidade essa muito acima média para o período. Uma hipótese seria atrasar ou antecipar mais a semeadura, com o intuito de sair desse período de precipitação elevada, visto que em dezembro do ano de 2014 também ocorreram precipitações acima da média.

3. A cultura do milho pode ser viável em ambientes de várzea, no entanto é preciso avaliar as condições de época de semeadura, textura do solo, e a existência ou não de algum fenômeno climatológico influenciando no clima. O período de janeiro em diante foi favorável ao desenvolvimento da cultura alcançando uma boa produtividade se considerarmos a baixa população de plantas.

## REFERÊNCIAS

- ANDRES, A. et al. 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, mai-ago, 2001.
- ARMSTRONG W., Drew M.C. **Root growth and metabolism under oxygen deficiency**. In: Waisel Y., Eshel A., Kafkafi A. (Eds.), *Plant roots. The hidden half*. Third Edition. Revised and expanded, New York: Marcel Dekker, pp. 729-761. 2002.
- COSTA, N. R., Andreotti, M., Gameiro, R. de A., Pariz, C. M., Buzetti, S., & Lopes, K. S. M. **Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(8), 1038–1047. 2012 .
- CRUZ, J. C. et al. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Circular Técnica, 77: **Manejo do solo para cultura do milho**. 1.ed. Sete Lagoas, MG, 2006. 14 p.
- CLIMA TEMPO; Climatologia; Médias de 30 anos de precipitações para cidade de Alegrete Rs. Disponível em <http://www.climatempo.com.br/climatologia/1376/alegrete-rs> ,Acessado em 24 de junho de 2016.
- EMBRAPA. **INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DE MILHO E DE SORGO NO RIO GRANDE DO SUL – SAFRAS 2013/2014 E 2014/2015**. Reunião Técnica anual de Milho (58.: 2013 : Pelotas, RS).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p
- GOMES, A. S. et al. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Documentos, 169: **Caracterização de Indicadores da Qualidade do Solo, com Ênfase às Áreas de Várzea do Rio Grande do Sul**. 1.ed. Pelotas, RS, 2006. 42 p.
- FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila** (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre, 2008. 33p.
- GARCIA, J. C.; MIRANDA, R. A. **Inovação Tecnológica e Controle de Mercado de Sementes Transgênicas de Milho**. CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, XXIX - Águas de Lindóia, São Paulo, Ago-2012
- GAZOLLA-NETO, A. et al. **Níveis de umidade do solo de várzea e seus efeitos sobre a emergência e crescimento inicial de plântulas de soja**. Informativo ABRATES, v.22, n. 2, p. 28-31, 2012.
- KIRK, G. **The Biogeochemistry of Submerged Soils**. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, John Wiley & Sons Ltd .England 2004.
- KLERING, E. V. et al. Estimativa de área cultivada com arroz irrigado para o estado do Rio Grande do Sul a partir de imagens Modis. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM Ciência e Natura**, Santa Maria, ISSN: 2179-460X, v. 35 n. 2 dezembro, p. 126-135 , 2013.
- KUNZ, M. Programa de pós-graduação em ciência do solo. **Relações físico – hídricas de um latossolo sob plantio direto**. UFSM, Santa Maria, RS, 2010.
- MARCHESAN, et al. **Resposta de sistemas de implantação na resistência mecânica do solo a penetração e na produtividade de soja em área de**

**várzea.** Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, VIII, Santa Maria, RS, 2013.

MONTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F.; **Infiltração de Água no Solo.** Irrigação Princípios e Métodos , 3 ed. Viçosa, Mg, 2013.

MORENO, José Alberto. 1961.Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, **Secretaria da Agricultura**, 42p. 1961

PARFITT, J. M. B. et al. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Comunicado Técnico, 93: **Validação de Tecnologias para o Cultivo de Milho e de Sorgo em Áreas de Arroz Irrigado, na Planície Costeira do Rio Grande do Sul.** 1.ed. Pelotas, RS, 2003. 03 p.

PAULETTO. E. A. et al. **Física se solos de várzea cultivados com arroz irrigado.** In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JR., A.M. Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.119-141.

PINTO, L.F.S. et al. **Solos de várzea do sul do Brasil cultivados com arroz irrigado.** In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JR., A.M. Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75-95.

REICHERT, J. M.; REINERT, J. D.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, jul-dez 2003.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014.** / XXXIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul ; organizada por Leila Maria Costamilan [et al.]. – Passo Fundo: Embrapa Trigo, 142 p. 2012.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.26, n.3, p 321-344, jul/set 2005.

SCHNEID, L. IRGA. Colheita de Arroz chega 64,4% da área. Planeta arroz. 2015. Disponível em [http://www.planetaarroz.com.br/site/noticias\\_detalhe.php?idNoticia=13485](http://www.planetaarroz.com.br/site/noticias_detalhe.php?idNoticia=13485)

SCHOENFELD, Rodrigo **Sistemas de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de coberturas em planossolo haplico**, 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

SILVA, C. A. S. et al. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Comunicado Técnico, 165: **Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea**. 1.ed. Pelotas, RS, 04 p. 2007.

STRECK, C. A. **Índice S e fluxo de água e ar em solos do sul do Brasil**. UFSM, Santa Maria, RS, 2007.

THEISEN, G. **Conjuntura e diagnóstico do problema do arroz vermelho nos principais países produtores de arroz do mundo**. Seminário Latino Americano sobre Arroz Vermelho ( 2. : 2013 : Porto Alegre, RS).

VERNETTI, F. J. J.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.15, n.1-4, p.37-42, jan-dez, 2009 a.

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