

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

**RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E USO DE ÁGUA EM  
ARROZ IRRIGADO**

**TESE DE DOUTORADO**

**Raquel Paula Lorensi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**

**RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E USO DE ÁGUA EM  
ARROZ IRRIGADO**

**por**

**Raquel Paula Lorensi**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em  
Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de  
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau  
de  
**Doutor em Engenharia Agrícola**

Orientador: Prof. Dr. Flávio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E USO DE ÁGUA EM  
ARROZ IRRIGADO**

elaborada por  
**Raquel Paula Lorensi**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutora em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



**Flávio Luiz Foletto Eitz, PhD. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



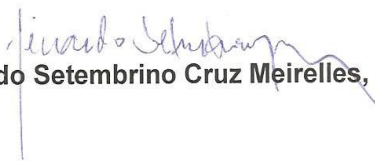
**Enio Marchesan, Dr (UFSM)**



**Fabrício de Araújo Pedron, Dr (UFSM)**



**Rita de Cássia Fraga Damé, Dra (UFPel)**



**Fernando Setembrino Cruz Meirelles, Dr. (UFRGS)**

Santa Maria, 23 de março de 2011.

À Deus.

À família Lorensi, pelo apoio, amor e proteção.

À meu noivo Deivisson, por sempre me apoiar, compreender, incentivar e amar

DEDICO este trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Maria, e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao professor Flávio Luiz Foletto Eltz, pela orientação e confiança, muito importantes para a minha formação científica.

À professora Jussara Cabral Cruz, pela amizade e valiosa ajuda na condução desse trabalho.

À professora Rita de Cássia Fraga Damé, pela amizade, força e incentivo em fazer este curso.

Aos professores Geraldo Lopes da Silveira, Fabrício Pedron e Enio Marchesan e Fernando Setembrino Cruz Meirelles, pelo apoio e discussão sobre o assunto da tese.

Ao colega Glauco de Oliveira da Luz, pelo apoio a campo e companheirismo nas viagens nas lavouras de arroz irrigado do Estado do RS e ao colega Maurício Turchiello, pelo apoio a campo e em laboratório.

Às amigas Kátia Zardo e Jennifer Luz Lopes, pela amizade, descontração e apoio à campo e em laboratório.

Aos colegas do grupo de Pesquisa GERHI da UFSM: Pedro Pasotini, Catarine Barcelos, Pamina Lampert, Adriano Antolini, Edner Baumhardt, Marília Tamiosso, Fabiana Perotto, João Francisco Horn, Vinícius Ferreira Dulac, Calinca Barão de Avila, Eduardo Costella, Michele Benetti Leite, Carla Fernanda Perius e Romário Carvalho Neto, pelo apoio a campo e em laboratório.

À minha mãe Maria, pelo apoio, força e orações que muito me fortaleceram e me deram ânimo nesta caminhada. A meu pai Hilário (in memoriam) pela força e proteção. Ao meu irmão Sedinei, minha cunhada, Beatriz e aos meus sobrinhos Bernardo e Vinícius, pelo apoio e incentivo nesta caminhada.

À Capes e ao CNPq, pela bolsa concedida e pelos recursos para viabilização desse projeto, respectivamente.

Aos proprietários das lavouras de arroz irrigado, Antônio Carlos Nemitz (Manoel Viana), Gerson Bianchini (Santa Maria) e André Gabriel Brun (Cacequi) e ao Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA (Cachoeira do Sul), pela hospitalidade e licença para as visitas às áreas monitoradas.

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E USO DE ÁGUA EM ARROZ IRRIGADO

AUTORA: RAQUEL PAULA LORENSI

ORIENTADOR: FLÁVIO LUIZ FOLETTTO ELTZ

**Data e Local da Defesa:** Santa Maria, 23 de março de 2011.

O conhecimento do volume de água utilizado em lavouras orizícolas é de fundamental importância para a solução de problemas relativos à distribuição da água entre os usos múltiplos e à concessão da outorga. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi quantificar o volume de água usado em lavouras orizícolas, por meio de métodos simplificados de medição de vazão em áreas de diferentes regiões produtoras no sul do Rio Grande do Sul, como subsídio à gestão de recursos hídricos e relacioná-lo com atributos do solo. O estudo foi implantado em quatro municípios, produtores de arroz irrigado, no Estado do Rio Grande do Sul: Cacequi, Cachoeira do Sul, Manoel Viana e Santa Maria, totalizando sete áreas com extensões entre 0,66 a 30,1 hectares. Foi calculada a vazão e classificado o solo de cada área de várzea. A metodologia de medição de vazão consistiu na instalação de estruturas hidráulicas simples. As estruturas foram instaladas nos canais de irrigação e em alguns de drenagem. Esta metodologia transforma a vazão em volume por meio de equações empíricas. Posteriormente o volume monitorado foi comparado ao volume do balanço hídrico real para a validação do método de medição de vazão (automonitoramento). Foi realizada a caracterização do solo através da descrição de perfil para a obtenção dos horizontes pedogenéticos. Em seguida, foram realizadas análises físicas, em laboratório, para determinar parâmetros como a densidade (do solo e de partícula), a porosidade (macro, micro e total), a textura (argila, silte e areia), a condutividade hidráulica saturada, e as análises químicas como pH do solo, cálcio, magnésio, alumínio, saturação (bases e alumínio). A taxa de infiltração de água no solo foi realizada à campo e obtida por meio do infiltrômetro de duplo anéis concêntricos. A classificação dos solos foi determinada até o quarto nível categórico adotada pelo SBCS (EMBRAPA, 2006). Os resultados mostraram similaridade na comparação entre a técnica de automonitoramento e o balanço hídrico real. Ocorreram apenas duas classes de solo: Planossolos e Gleissolos. A relação entre a espessura da camada arenosa e o volume de água utilizado na irrigação foi diretamente proporcional. Já a fração argila e o volume foi inversamente proporcional. A maioria das áreas apresentaram alta densidade do solo e baixa porosidade total. A classificação da condutividade hidráulica saturada foi de muito lenta à lenta. As áreas que apresentaram maiores taxas de infiltração, no início do teste foram: Cacequi (Plantio Direto) e Cachoeira do sul (Convencional). Na primeira, devido à elevada concentração de areia, e, na segunda pelo revolvimento da superfície do solo antes do teste de infiltração. Desta forma, conclui-se que a técnica de automonitoramento foi validada. A área de Manoel Viana apresentou volume discrepante das demais. A quantificação do volume de água usado depende quase exclusivamente da classe de solo e muito pouco do sistema de cultivo. Um aumento no teor de argila na camada subjacente à camada arenosa diminui o volume de água na irrigação. A área que não apresentou o horizonte B registrou o maior volume utilizado. Os dados de densidade do solo, porosidade total, condutividade hidráulica saturada e infiltração não tiveram comportamento semelhante em todas as áreas avaliadas.

**Palavras-chave:** lavouras orizícolas, Gleissolos, Planossolos, automonitoramento, outorga.

## **ABSTRACT**

Doctorate Thesis  
Graduate Program in Agricultural Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **RELATIONSHIPS BETWEEN SOIL ATTRIBUTES AND WATER USE IN IRRIGATED RICE**

**AUTHOR: RAQUEL PAULA LORENSI**  
**ADVISER: FLÁVIO LUIZ FOLETTO ELTZ**

**Place and date of the defense: Santa Maria, March 23, 2011.**

The knowledge of the water volume used in rice farming is of fundamental importance for the solution related to water distribution problems between the multiple uses and the grant concession. In this way, the objective of this work was to quantify the water volume used in rice farming, through simplified methods of flow measurement in different soils classes, as subsidy to the administration of water resources and to relate it to soil attributes. The study was implanted in four municipal districts, producers of irrigated rice, of the State of Rio Grande do Sul: Cacequi, Cachoeira do Sul, Manoel Viana and Santa Maria, totaling seven areas with extensions between 0.66 to 30.1 ha. Were measured the flow and classified the soils of each area. The methodology of flow measurement consisted of the installation of simple hydraulic structures. The structures were installed in the irrigation channels and in some drainage ones. This methodology transforms the flow in volume through empiric equations. Later, the monitored volume was compared to real hydric balance volume to validation of flow measurement method (automonitoring). The characterization of the soil was accomplished through the profile description for obtaining the pedogenetic horizons. Later, physical analyses were accomplished, in laboratory, as the density (soil and particle), the porosity (macro, micro and total), the texture (clay, silte and sand), the hydraulic conductivity and the chemical analyses as soil pH, calcium, magnesium, aluminum, saturation (bases and aluminum). The rate of water infiltration into soil in the field was obtained through the double concentric rings infiltrometer. The soils classification was determined to the fourth categorical level adopted by the Brazilian System of Soil Classification (EMBRAPA, 2006). The results showed similarity comparing the automonitoring technique and the real hydric balance. Only two soil classes occurred: Planossolos and Gleissolos. The relation between the soil sandy layer thickness and water volume used in irrigation was directly proportional. Already the clay fraction and volume relationship was inversely proportional. Most of the areas showed high soil density and low total porosity. The saturated hydraulic conductivity was classified between very slow to slow. The areas that presented larger infiltration rates, in the beginning of the test, were: Cacequi (No Till) and Cachoeira do Sul (Conventional). In the first, due to the high concentration sand, and in the second, due to soil surface was turned over before the infiltration test. In this way, was concluded that the automonitoring technique was validated. The Manoel Viana area showed discrepant conflicting volume from the others. The quantification of water volume used depends almost exclusively of the soil class and only a few of the soil management system. An increase in clay content in the layer under the sand layer decreases the water volume in irrigation. The area that not showed B horizon had the greater volume. Soil density data, total porosity, the saturated hydraulic conductivity and infiltration rate did not have similar behavior in all evaluated areas.

**Key-words:** rice farming, Gleissolos, Planossolos, automonitoring, grant.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 – Distribuição geográfica dos municípios onde foi instalado o experimento, em cada área selecionada, no ano agrícola 2008/09. Santa Maria, RS, 2010...41
- Figura 3.2 – Croqui e Vertedor Retangular em metal. Santa Maria, RS, 2010.....44
- Figura 3.3 – Vertedor Retangular com soleira delgada em alvenaria. Santa Maria, RS, 2010. ....44
- Figura 3.4 – Croqui e Vertedor triangular em metal. Santa Maria, RS, 2010. ....44
- Figura 3.5 – Canal seção circular em concreto. Santa Maria, RS, 2010. ....46
- Figura 3.6 – Implantação, nivelamento e aguação da estrutura sobre o canal em terra. Santa Maria, RS, 2010.....46
- Figura 3.7 – Planilha do Observador. Santa Maria, RS, 2010.....48
- Figura 3.8 – Detalhe dos duplos anéis concêntricos e do infiltrômetro utilizados para a determinação da infiltração de água no solo. Santa Maria, RS, 2010.....55
- Figura 4.1 – Volume utilizado ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ ) na irrigação, nas sete áreas de várzea monitoradas, em função da espessura da camada arenosa (horizontes A, E e C), em cm de cada perfil. Santa Maria, RS, 2010. ....67
- Figura 4.2 – Volume utilizado ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ ) na irrigação, nas áreas de várzea monitoradas, em função da textura da camada de impedimento de água (horizonte B), em % de cada perfil. Santa Maria, RS, 2010.....68
- Figura 4.3 – Taxa de infiltração de água no solo, nas sete áreas de várzea monitoradas com a cultura do arroz irrigado, média de cinco infiltrômetros por área. Santa Maria, RS, 2010.....76
- Figura 4.4 – Infiltração acumulada de água no solo, nas sete áreas de várzea monitoradas com a cultura do arroz irrigado, média de cinco infiltrômetros por área. Santa Maria, RS, 2010.....77



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Relação dos municípios, sistema de cultivo e área em hectares de cada local selecionado para a, implantação do método simplificado de medição de vazão e classificação do solo no ano agrícola 2008/09. Santa Maria, RS, 2010. ....	42
Tabela 3.2 – Relação dos municípios, sistema de cultivo, local de entrada e saída de água na área e o tipo de estruturas hidráulicas implantadas em cada local . Santa Maria, RS, 2010.....	42
Tabela 3.3 – Relação dos municípios do Estado do Rio Grande do sul, sistemas de cultivo e estações meteorológicas usadas para a estimativa da ETo para a safra 2008/2009. Santa Maria, RS, 2010.....	51
Tabela 4.1 – Período de irrigação, lâmina d'água, rendimento de grãos de arroz, nivelamento superficial, manejo da irrigação, cultivar, município e sistema de cultivo de arroz irrigado das sete áreas de várzea, monitoradas durante a safra 2008/09. Santa Maria, RS, 2010.....	58
Tabela 4.2 – Volume irrigado ( $m^3 ha^{-1}$ ), volume precipitado ( $m^3 ha^{-1}$ ), volume de perdas ( $m^3 ha^{-1}$ ) e volume utilizado ( $m^3 ha^{-1}$ ) nas sete áreas de várzea, na cultura de arroz irrigado durante a safra 2008/09, no Estado do RS. Santa Maria, RS, 2010. ....	60
Tabela 4.3 - Componentes para o cálculo do $V_{BH}$ , $V_{utilizado}$ e diferença em módulo para cada área monitorada com arroz irrigado. Santa Maria, RS, 2010. ....	62
Tabela 4.4 – Sequência de horizontes, profundidade, transição entre horizontes, raízes, granulometria e classe textural das sete áreas monitoradas no Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2010.....	64
Tabela 4.5 – Sequência de horizontes (H), densidade do solo (Ds) e de partícula (Dp), micro, macro e porosidade total (%) e a respectiva relação entre micro/macro, das sete áreas monitoradas no Estado do RS. Um perfil de cada área. Santa Maria, RS, 2010.....	70
Tabela 4.6 – Sequência de horizontes, condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) e classe de infiltração das sete áreas de várzea monitoradas no Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2010.....	73

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1. Água e agricultura.....	15
2.2. A agricultura irrigada e o arroz no Brasil e no RS.....	16
2.3. O uso da água no arroz irrigado no RS .....	17
2.4. Quantificação do uso da água no arroz irrigado .....	20
2.4.1. <i>Outorga e automonitoramento</i> .....	20
2.4.2. <i>Medição de vazão</i> .....	21
2.4.3. <i>Balanço hídrico</i> .....	26
2.5. Solos de várzea .....	31
2.5.1. <i>O perfil do solo para o cultivo do arroz irrigado</i> .....	33
2.5.2. <i>Morfologia e principais classes de solos para o cultivo de arroz irrigado no Estado do RS</i> .....	34
2.6. Características físicas de solos de várzea.....	35
2.6.1. <i>Condutividade hidráulica do solo</i> .....	35
2.6.2. <i>Densidade do solo e de partícula</i> .....	36
2.6.3. <i>Porosidade (macro e microporosidade) do solo</i> .....	38
2.6.4. <i>Textura e estrutura do solo</i> .....	38
2.6.5. <i>Infiltração de água no solo</i> .....	39
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
3.1. Localização das áreas de estudo .....	41
3.2. Quantificação do uso da água nas áreas de várzea.....	42
3.2.1. <i>Automonitoramento e medição de vazão</i> .....	42
3.2.2. <i>Balanço Hídrico</i> .....	49
3.2.2.1. <i>Balanço Hídrico para o Automonitoramento</i> .....	49
3.2.3.2. <i>Balanço Hídrico para comparar com o automonitoramento</i> .....	49
3.3. Caracterização dos solos.....	51
3.3.1. <i>Descrição morfológica dos solos de várzea</i> .....	51
3.3.2. <i>Determinação das características físicas dos solos de várzea</i> .....	52
3.3.3. <i>Classificação dos solos de várzea</i> .....	56
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>57</b>
4.1. Características gerais das áreas de várzea.....	57

4.2. Volume utilizado para a irrigação.....	59
4.3. Balanço Hídrico <i>versus</i> volume utilizado (Automonitoramento).....	60
4.4. Descrição morfológica e granulométrica.....	63
4.5. Características físicas do solo .....	69
4.5.1. <i>Densidade(solo e partícula), porosidade (total, macro e micro)</i> .....	69
4.5.2. <i>Condutividade hidráulica e infiltração</i> .....	72
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>92</b>
Anexo I - Descrição morfológica dos perfis, análise granulométrica e análise química das áreas monitoradas no Estado do RS.....	93
Anexo II: Equações para o cálculo da evapotranspiração de referência segundo o Boletim da FAO 56 (ALLEN et al., 1998). .....	101
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>104</b>
Apêndice I - Planilha de campo do observador, equação empírica da estrutura hidráulica e monitoramento do fluxo de entrada (irrigação + precipitação) e fluxo de saída à vazão de drenagem (perdas). .....	105

# 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a sustentação da vida, do meio ambiente e do conjunto de atividades que movem a economia de um país, com destaque à agricultura. No entanto, cada vez mais se reconhece a escassez desse bem natural para a irrigação agrícola. Com isso, o desenvolvimento atual da orizicultura depende de procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, melhorar a eficiência da sua aplicação e proporcionar ganhos de produtividade (MACHADO et al., 2003).

Considerando que o arroz (*Oryza sativa* L.) constitui-se em alimento básico para a maior parte da população mundial, há, atualmente, a necessidade de se aumentar a produção de grãos para atender à crescente demanda decorrente do aumento populacional. O Brasil está entre os dez principais produtores mundiais de arroz, com cerca de 11 milhões de toneladas para um consumo. Esta produção é oriunda de dois sistemas de cultivo: irrigado e sequeiro (EMBRAPA, 2009). O cultivo do arroz irrigado está presente em todas as regiões brasileiras, destacando-se a Região Sul (RS, SC, PR) como a principal, atualmente, com 69,95% da produção total. No Estado do RS, são encontrados cerca de 7,5 milhões de toneladas, sendo considerado o estabilizador da safra nacional (IRGA, 2008).

Nesse sentido, torna-se imprescindível criar dispositivos que monitorem o uso regular da água para irrigação das lavouras, em função de que a tendência de escassez da água, é grande. Diante disso, a quantificação do uso é uma ação que otimiza a disponibilidade desse recurso, atendendo assim às diversas expectativas de seus diferentes eixos de consumo. Com base nessa questão, é relevante compreender que a escassez da água se explica por sua disponibilidade irregular, variando marcadamente ao longo do ano, entre os anos e de região para região. Esses fatores tornam cada vez mais difíceis a utilização contínua e indefinida da água, exigindo, novas estratégias para a sua preservação. Entre elas, estão aquelas que consistem em estabelecer critérios de uso para todas as atividades produtivas, incluindo a lavoura orizícola, a partir de informações e estudos que contribuam para o estabelecimento de culturas planejadas, a fim de conservar a disponibilidade dos recursos naturais (MACHADO, et al., 2003).

Se prevalecer o aumento da escassez desse recurso natural, nos dias atuais, gerar-se-ão maiores conflitos entre os setores que necessitam da água. Estes conflitos ocorrem com a irrigação e entre outras atividades agrícolas, industriais e de abastecimento público. Os conflitos são gerados em locais, onde ocorre a escassez localizada de água, como no caso do rio Vacacaí, mais de 90% da água destinam-se à irrigação de arroz, faltando assim, para os demais usos (MACHADO, et al., 2003). Diante disso, um dos caminhos para minimizar ou até mesmo resolver os conflitos é gerenciar o uso da água. Desta forma, a outorga de direito de uso da água, que consiste na licença emitida pelo Departamento de Recursos Hídricos (DRH) do Estado do Rio Grande do Sul, para que o usuário possa utilizar um determinado volume de água a fim de atender a suas necessidades (CRUZ; SILVEIRA, 2007b), e, como efeito desse procedimento, racionalizar o uso das águas, evitando situações de disputa pelas quantidades disponíveis (CRUZ; SILVEIRA, 2007a).

Em condições adequadas de solo, relevo e manejo de água, a eficiência da irrigação, nas lavouras de arroz, atinge valores em torno de 60%. No entanto, há citações de que a eficiência da irrigação situa-se em torno de 45% (MACHADO, et al., 2003). Diante disso, uma das técnicas para aumentar a eficiência de irrigação na lavouras orizícolas, é melhorar o manejo da água com a racionalização do uso dos recursos hídricos. Esta racionalização terá início a partir da fiscalização da água. Porém, esta fiscalização consiste em um desafio para o órgão gestor por duas razões: (a) estabelecer a outorga, e não ter como fiscalizar as quantidades realmente utilizadas; (poderá colocar um descrédito a todo o sistema de gestão de recursos hídricos) e (b) a implantação de uma fiscalização de medição de vazão em diferentes áreas (ou seja, em diferentes classes de solo, pode se tornar muito onerosa, caso o órgão gestor tenha que custear todas as campanhas de monitoramento).

Considerando que a gestão de recursos hídricos possui um desafio na fiscalização, uma alternativa é quantificar o volume de água usado em lavouras de arroz irrigado por meio de métodos simplificados de medição de vazão (estruturas hidráulicas), como vertedor retangular e triangular, canal regular e canal de seção circular. Estas estruturas são simples, de fácil instalação e entendimento; sendo assim, tanto o pequeno, quanto o grande produtor podem adquirir os equipamentos para a quantificação. O procedimento é considerado comum na quantificação do volume de água usado nas lavouras orizícolas. As estruturas geralmente são

instaladas nos canais de entrada e/ou drenagem de água nas lavouras de arroz. Juntamente com a quantificação do volume faz-se necessário a classificação do solo das áreas de várzea.

Nesse sentido, o presente estudo visa quantificar o volume de água usado em lavouras orizícolas, por meio de métodos simplificados de medição de vazão em áreas de diferentes regiões produtoras no sul do Rio Grande do Sul, como subsídio à gestão de recursos hídricos.

Para tanto, o estudo tem como objetivo específico:

- quantificar o volume de água usado, em áreas de várzea, com a cultura do arroz irrigado, com métodos simplificados de medição de vazão, considerando diferentes regiões produtoras no sul do Rio Grande do Sul.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Água e agricultura**

A água é um recurso essencial para a sustentação da vida, do meio ambiente e do conjunto de atividades que movem a economia de um país, com destaque à agricultura. Atualmente, cada vez mais, reconhece-se a escassez da água para a irrigação agrícola. Com isso, o desenvolvimento atual da orizicultura depende de procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, melhorar a eficiência da sua aplicação e proporcionar ganhos de produtividade (MACHADO et al., 2003).

Por isso, a água tem sido constantemente foco de atenção de pesquisadores, governantes e da própria população, uma vez que seu uso segue em exploração crescente; por causa disso, diminui a sua disponibilidade, visto às variações climáticas e/ou práticas não adequadas de uso e ocupação do solo (COSTA et al., 2007). Desta maneira, medidas é necessário que sejam tomadas relacionadas ao uso racional da água e consequentes medidas conservacionistas, as quais podem ser potencializadas com a evolução dos conhecimentos.

Depois de suprir as necessidades humanas e a dessedentação animal, a agricultura possui o uso de água mais importante (RIGHES, 2000). Segundo o autor, 90% da água utilizada para o abastecimento humano ou industrial retornam ao meio ambiente, podendo ser reutilizada para outros usos. No entanto, na irrigação, apenas 50% está imediatamente disponível para outros usos, sendo o restante da água evaporada e/ou transpirada. Neste contexto, ganha importância, na agricultura, a eficiência do uso da água nos sistemas de irrigação.

A eficiência no uso da água de irrigação integra componentes como: as perdas que ocorrem nos reservatórios, na condução e na aplicação nas áreas irrigadas. Paz et al. (2000), apontam baixos valores de eficiência indicando, com isso, a necessidade de utilização de estratégias de manejo para estimativa da quantidade de água a ser aplicada e operação adequada de sistemas, proporcionando melhoria dos níveis de eficiência. Por isso, métodos e equipamentos de irrigação podem e devem ser aprimorados para reduzir as perdas e induzir ao

manejo adequado em conjunto com o solo, a planta e o clima, com ganhos de eficiência do uso da água.

O uso eficiente da água de irrigação pode ser alcançado atuando-se: a) no manejo da irrigação, em termos de tipos de cultivo, sistemas de irrigação e gestão do uso de água; b) nos métodos de manejo da irrigação e c) nas técnicas que permitem aumento da eficiência do uso da água (COELHO et al., 2005).

A agricultura irrigada, mesmo sendo considerada uma atividade de grande uso de água, representa a atividade mais eficiente de aumento da produção de alimentos (PAZ et al., 2000). Conforme o autor, este elevado uso de água se torna uma questão preocupante, uma vez que existem restrições de disponibilidade dos recursos hídricos.

Considerando o mapeamento da disponibilidade hídrica mundial, verifica-se que o Brasil é o país mais rico em água potável, com 8% das reservas mundiais, concentrando 18% do potencial de água de superfície do planeta (MAIA NETO, 1997). Apesar da situação aparentemente favorável, verifica-se uma enorme desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos, ocorrendo assim conflitos pelo uso da água. No Estado do Rio Grande do Sul, o uso de água, nas lavouras de arroz, vem diminuindo ao longo do tempo, mas ainda se encontra em patamares elevados (MACHADO et al., 2003).

## **2.2. A agricultura irrigada e o arroz no Brasil e no RS**

A agricultura irrigada visando a prática da produção de alimentos é a que corresponde a maior utilização de água doce. Isso é verdade, principalmente, em países da Ásia e do Saara Africano, onde entre 80 e 90% da água doce é destinada para esse fim (FAO, 2004a). Atualmente, a irrigação é utilizada em 17% das áreas aráveis do planeta, sendo responsável por 40% da produção mundial de alimentos. A irrigação usa aproximadamente 70% total das águas retiradas do sistema global de rios, lagos e mananciais subterrâneos e os 30% restantes são utilizados para outros fins (industrial, geração de energia, recreação, entre outros) (ANA, 2009).

Segundo EMBRAPA (2009), o arroz (*Oryza sativa L.*) constitui-se em alimento básico para a maior parte da população mundial, havendo, atualmente, necessidade de aumentar a produção de grãos para atender à crescente demanda decorrente do



aumento populacional. A cultura do arroz destaca-se como uma das mais importantes do mundo.

O Brasil está entre os dez principais produtores mundiais de arroz, com cerca de 11 milhões de toneladas para um consumo de 11,7 milhões de toneladas de arroz com casca. Esta produção é oriunda de dois sistemas de cultivo: irrigado e sequeiro. O sistema de cultivo de sequeiro tem grande relevância na produção de arroz para o ecossistema de terras altas (EMBRAPA, 2005). No ecossistema de várzeas, predomina o sistema de cultivo com irrigação (EMBRAPA, 2003). Nas áreas de várzeas, a água, atualmente, não é utilizada, em nível mundial, de forma tecnicamente correta, com adequada eficiência para a irrigação. A média observada de uso da água para irrigação, nos países em desenvolvimento, situa-se acima de  $13.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , superior ao valor de  $7.500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , obtidos através de manejo adequado nas mesmas regiões (CHRISTOFIDIS, 2001).

O cultivo do arroz irrigado é encontrado em dezesseis estados de todas as regiões do Brasil, destacando-se a Região Sul que é responsável, atualmente, por 69,95% da produção total deste cereal (IBGE, 2008; EMBRAPA, 2009). Nas demais regiões as produções de arroz irrigado não são expressivas.

No Rio Grande do Sul o arroz irrigado é cultivado em 138 municípios, localizados nas seguintes regiões: Fronteira Oeste, Depressão Central, Campanha, Litoral Sul, Planície Costeira Externa e Planície Costeira Interna. Essas regiões apresentam diferenças quanto a topografia, clima, solos, disponibilidade de água para irrigação, área de lavoura, etc, determinando variações em termos de produção e produtividade média (EMBRAPA, 2005).

### **2.3. O uso da água no arroz irrigado no RS**

Na literatura sobre agricultura irrigada, existem inúmeras pesquisas que apontam sobre o uso da água na cultura do arroz irrigado no Estado do RS. Estas pesquisas apresentam diversidades nos volumes de um autor para outro. Entretanto, em relação ao volume de água entre os sistemas de cultivo, pode-se afirmar que este não é influenciado considerando estudos em mesma área. Para exemplificar, Weber et al. (2003), em estudo na região central do Estado do RS, aponta o uso da água no sistema convencional, cultivo mínimo e pré-germinado de 11.605, 12.193,  $11.989 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  respectivamente; Marcolin et al. (1999) obtiveram uso médio de

7.415, 6.945 e 7.233 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente para os sistemas convencional, plantio direto e pré-germinado em três anos agrícolas consecutivos, em Planossolo, na Estação Experimental do Arroz (Cachoeirinha, RS); Mota et al. (1990) verificaram que, para a região de Santa Maria (RS), a necessidade de água variou de 5.130 a 4.780 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para as semeaduras realizadas em 15 de outubro e 15 de novembro, respectivamente. Machado et al. (2006) conduziram experimento em área de várzea, em Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico, na Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria(RS) e avaliaram o uso da água em diferentes sistemas: convencional, cultivo mínimo, pré-germinado, mix de pré-germinado e transplante de muda que variou de 5.431 a 6.422 e de 5.374 a 5.852 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, para as anos agrícolas de 2000/01 e 2001/02.

Para Macedo et al. (1997), na Estação Experimental do Arroz (Cachoeirinha, RS), em Planossolo, o uso de água, para os sistemas convencional, plantio direto e pré-germinado, foi de 6.272, 6.247 e 6.145 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Macedo et al. (2001) apontaram valores de uso em torno de 5.130 a 8.013 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nas mesmas condições descritas anteriormente. Dessa forma, Marcolin e Macedo (2001), durante cinco safras consecutivas, comparando os sistemas de cultivo convencional, plantio direto e pré-germinado, com irrigação por inundação permanente, nas mesmas condições anteriormente descritas, verificaram volumes de aproximadamente 8.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, não diferindo entre os sistemas.

As diversidades entre os valores acima mencionados de um autor para outro devem-se não só aos critérios de identificação do volume de irrigação, do volume de irrigação mais precipitado ou ainda do volume evapotranspirado, como também às diferenças das próprias lavouras, entre elas: as classes de solo, nivelamento superficial, sistemas de cultivo, tipos de cultivar, etc. Desta forma, percebe-se que os diferentes sistemas de cultivo, implantados em áreas próximas umas das outras, não diferem no uso da água, podendo, então, ser a classe de solo e o nivelamento superficial, as características que podem afetar a utilização de maior volume de água na cultura do arroz irrigado.

### 2.3.1. Sistemas de cultivo e técnica de manejo da água usados no Rio Grande do Sul

Os sistemas de cultivo do arroz irrigado diferenciam-se basicamente nos procedimentos para o estabelecimento da lavoura, ou seja, preparo do solo,

semeadura e início da irrigação, mas têm reflexos em algumas práticas de manejo, como a adubação e controle de plantas daninhas (MARCHEZAN et al., 2005).

No Estado do Rio Grande do Sul, o sistema cultivo mínimo ocupa cerca de 46% da área cultivada. O restante é dividido entre o convencional, pré-germinado e plantio direto, com respectivamente 36, 12 e 6% (EMBRAPA, 2009). Cada sistema de cultivo apresenta suas peculiaridades e exigências, que podem ser usadas como forma de produção sustentável.

O cultivo mínimo é realizado através de operações de preparo do solo no final do inverno/início da primavera (EMBRAPA, 2009), e antes da semeadura, utilizando-se somente a aplicação do herbicida de ação total para eliminar plantas nativas ou cultivadas, que cresceram durante esse intervalo de tempo (WEBER et al., 2003). Por outro lado, o convencional se caracteriza pelo excessivo número de operações de preparo do solo (SOSBAI, 2003), sendo essas operações realizadas muito próximas à época da semeadura do arroz, provocando, em muitos anos, atraso no estabelecimento da lavoura (WEBER et al., 2003).

O pré-germinado é uma alternativa viável para áreas que apresentam problemas de produtividade, principalmente, pela alta infestação de arroz vermelho (SOSBAI, 2003; EMBRAPA, 2009). O preparo do solo e o aplainamento da superfície, no sistema pré-germinado, são executados sob condições de solo saturado e a semeadura do arroz é realizada com semente pré-germinada em lâmina de água (WEBER et al., 2003; SOSBAI, 2003). Por outro lado, o plantio direto é definido como sendo o sistema de semeadura, no qual a semente é colocada diretamente no solo não revolvido (MARCHEZAN, et al., 2005), tendo como principal objetivo a conservação dessa superfície. O preparo do solo no sistema plantio direto é realizado nos meses de janeiro a março (EMBRAPA, 2009).

As técnicas de manejo de água para a irrigação condicionam a forma de ordenamento da lavoura, dando a esta a sua configuração quanto ao sistema de manejo da água na rizicultura (MOLOZZI, 2006).

No Estado do Rio Grande do Sul, utiliza-se a irrigação intermitente, onde os suprimentos de água à lavoura são realizados em intervalos irregulares (SILVA e PARFITT, 2005). Ainda, é chamada de banhos, onde apresenta como vantagem a dispensa de investimentos iniciais, pois utiliza a estrutura já instalada para a irrigação do arroz, podendo ser realizada tanto em terrenos sistematizados quanto não sistematizados.

Em cada técnica de manejo de água, na cultura do arroz irrigado, é importante quantificar o uso da água. Esta quantificação é relevante para o conhecimento da quantidade de água usada em cada técnica aplicada, e assim analisar a viabilidade da técnica usada.

## **2.4. Quantificação do uso da água no arroz irrigado**

### *2.4.1. Outorga e automonitoramento*

A outorga de direito de uso da água consiste na licença emitida pelo Estado ou União para que o usuário possa utilizar volume de água para atender suas necessidades (CRUZ; SILVEIRA, 2007b). Neste contexto, a outorga tem como objetivo racionalizar o uso das águas, evitando assim situações de conflito no uso da água entre os usuários da mesma (CRUZ; SILVEIRA, 2007a), e constituindo-se em etapa indispensável para a operação do sistema de gestão de recursos hídricos, conforme estabelece a Legislação Brasileira (9.433/97) e Riograndense (10.350/94).

Os conflitos pelo uso da água, gerados, muitas vezes, pela escassez, vêm se agravando dia após dia, tornando-se alvo constante de debates pela maioria da população. Nesse sentido, o gerenciamento de recursos hídricos visa harmonizar e solucionar conflitos resultantes do uso intensivo da água (CRUZ; TUCCI, 2005). Diante disso, a outorga do direito do uso da água, depende do conhecimento da disponibilidade hídrica no tempo e no espaço da bacia e das necessidades para a conservação dos sistemas hídricos.

A implementação da outorga ocorre a partir de um estudo de quantificação da disponibilidade hídrica dos mananciais, além do levantamento das quantidades de água demandadas em cada caso, a fim de que se alcance o objetivo principal de utilização racional dos recursos hídricos por meio de balanço hídrico (CRUZ; SILVEIRA, 2007a).

No pesquisa desenvolvida na Bacia do Rio Santa Maria (UFMS/SEMA, 2004), sugeriu-se, na primeira fase de revisão da outorga, em projetos gerais de irrigação, estudos das características físicas do solo de análise granulométrica, bem como a determinação da densidade do solo por camada, das características físico-hídricas para a determinação da taxa de infiltração e das vazões iniciais por área, para inundação escalonada e a vazão média de manutenção. Em vista disso, cada

produtor do Estado do Rio Grande do Sul precisa apresentar ao órgão responsável os resultados da primeira fase de revisão para o pedido de outorga.

O grande desafio da outorga do direito de uso da água consiste na fiscalização dos volumes outorgados aos produtores de arroz irrigado do Estado do RS. Uma forma de fiscalizar estes volumes outorgados pode ser viabilizada com a implantação do automonitoramento.

O automonitoramento, aplicado ao instrumento de outorga, representa uma forma de autodeclaração do usuário da água, que monitora e fornece dados da quantidade utilizada na sua lavoura, formando assim uma consciência de racionalização (LORENSI et al., 2009). A técnica permite a construção de um banco de dados para o balanço hídrico, objetivando assim chegar a valores mais próximos da realidade. Desta maneira, atende-se a um dos grandes desafios da outorga que é a fiscalização dos volumes outorgados, dada a grande quantidade de usuários. Com isso, o Estado passa a realizar visitas aos locais por amostragem e então verifica se a autodeclaração do produtor está de acordo com que os fiscais encontraram no banco de dados.

Os equipamentos utilizados, neste estudo, são estruturas hidráulicas, nas quais se aplica a técnica de automonitoramento da leitura do nível da lâmina d'água. Após aplicar esta técnica, realiza-se o balanço hídrico referente ao uso da água em cada área monitorada de arroz irrigado. Desta forma, os dados do balanço hídrico, além de orientar o gestor nas quantidades a serem outorgadas, servem também de fator para a racionalização do uso da água por parte do produtor, pois incentivam o uso de novas tecnologias para o aumento da eficiência da produção com uma menor quantidade de água.

#### *2.4.2. Medição de vazão*

A medição de vazão em hidrometria é todo o processo empírico utilizado para determinar a vazão de um curso de água. A vazão de um rio ou canal é definida como o volume de água que atravessa uma determinada seção num certo intervalo de tempo (SANTOS et al., 2001). Ainda, para o autor, a vazão é associada a uma cota linimétrica "h" (cota da superfície livre em relação ao plano de referência), onde as medições de vazões devem ser fáceis, diretas e rápidas.

Segundo Carvalho, (2008) a vazão é compreendida por um volume de água que passa numa determinada seção de rio ou canal por unidade de tempo, a qual, é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, e é expressa em  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ . A seguir apresenta-se algumas estruturas hidráulicas utilizadas na medição de vazão.

a) Vertedor retangular de soleira delgada com contração lateral

Os vertedores, retangular e triangular, de soleira delgada, são estruturas compostas basicamente de uma placa fina que intercepta transversalmente o fluxo da água, provocando uma elevação a montante e vertendo para a jusante. Esta estrutura possui um recorte de formato apropriado por onde o fluxo verte (SANTOS et al., 2001). Devido ao formato do recorte tanto o vertedor retangular quanto o triangular, após a calibração, permitem a transformação direta do nível da água em vazão.

O vertedor retangular de soleira delgada tem como principal característica a precisão de medição de vazões que variam de  $30 \text{ l s}^{-1}$  até  $300 \text{ l s}^{-1}$  (LENCASTRE, 1972; PORTO, 2004). As contrações laterais ocorrem nos vertedores cuja largura é menor que a largura do canal onde estão instaladas.

A vazão é calculada por meio da fórmula de Francis, conforme a Equação 1, na qual a variável utilizada no cálculo é a carga de água sobre a soleira ( $h$ ), ou seja, diferença de nível entre a linha de energia a montante e à soleira vertedora.

$$Q = 1,83(l - 0,2h)h^{3/2} \quad (1)$$

onde,  $Q$  é a vazão ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ),  $l$  é a largura do vertedor (m) e  $h$  é a carga de água sobre a soleira do vertedor (m).

Para o dimensionamento da estrutura, necessita-se respeitar alguns critérios técnicos, tais como: a largura do canal ( $L$ ) é a  $l$  (largura do vertedor) +  $2a$ , ou seja duas vezes a sobrelargura lateral ( $a$ ); a sobrelargura ( $a$ ) do canal deve ser pelo menos igual a  $3h$ , sendo  $h$  a carga de água estimada sobre a soleira (LENCASTRE, 1972). Para que um vertedor seja de soleira delgada, a espessura da parede deve ser inferior a dois terços da carga hidráulica ( $e < 2/3h$ ), caso contrário, é considerado de parede espessa (PORTO, 2004).

b) Vertedor triangular de soleira delgada

O vertedor triangular de soleira delgada é recomendado para medição de vazões iguais ou inferiores a  $30 \text{ L s}^{-1}$  (LENCASTRE, 1972), com cargas hidráulicas compreendidas entre 0,06 e 0,50 m (PORTO, 2004).

A vazão é calculada por meio da fórmula de Gourley, tendo como variável o ângulo do vértice ( $\alpha$ ) e a carga ( $h$ ) sobre o vértice em metros, conforme mostram as Equações 2, 3 e 4 a seguir:

$$\alpha = 90^\circ \rightarrow Q = 1,32h^{2,47} \quad (2)$$

$$\alpha = 60^\circ \rightarrow Q = 0,76h^{2,47} \quad (3)$$

$$\alpha = 45^\circ \rightarrow Q = 0,55h^{2,47} \quad (4)$$

onde,  $\alpha$  é o ângulo do vértice,  $Q$  é a vazão ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e  $h$  é a carga sobre o vértice (m);

O dimensionamento da estrutura segue critério técnico como: a sobrelargura ( $a$ ) que deve ser maior ou igual a três quartos da largura máxima do vertedor, ( $a \geq \frac{3}{4} l$ ) (LENCASTRE, 1972).

c) Canal de seção circular

Este tipo de estrutura oferece como vantagens a facilidade de execução e não requer o nivelamento da soleira. Este canal é largamente utilizado tanto no meio rural, na condução de água para diversas aplicações e drenagem de terras agrícolas, como nas cidades, para drenagem pluvial e de esgotos domésticos e industriais (GOLDFARB et al., 2004). O cálculo da vazão é determinado segundo metodologia abordada por PORTO (2004). Adotando a notação pode-se notificar as seguintes expressões geométricas.

$$A = D^2 \frac{(\theta - \text{sen}\theta)}{8} \quad (5)$$

$$P = \frac{\theta D}{2} \quad (6)$$

$$R_h = \frac{D(1 - \text{sen } \theta/\theta)}{4} \quad (7)$$

$$Y_0 = D \frac{(1 - \cos \theta/2)}{2} \quad (8)$$

$$\theta = 2 \arccos(1 - 2Y_0/D) \quad (9)$$

$$B = D \text{sen } \theta/2 \quad (10)$$

Escolhendo-se como dimensão característica da seção circular  $\lambda=D$ , diâmetro da seção, pode-se determinar os parâmetros de forma:

$$A = \alpha D^2 = D^2 \frac{(\theta - \text{sen } \theta)}{8} \therefore \alpha = \frac{(\theta - \text{sen } \theta)}{8} \quad (11)$$

$$R_h = \beta D = D \frac{(1 - \text{sen } \theta/\theta)}{4} \therefore \beta = \frac{(1 - \text{sen } \theta/\theta)}{4} \quad (12)$$

Portanto:

$$R = \alpha \beta^{2/3} = \frac{(\theta - \text{sen } \theta)}{8} \left[ \frac{(1 - \text{sen } \theta/\theta)}{4} \right]^{2/3} \quad (13)$$

Finalmente, o coeficiente de forma da seção circular é dado por:

$$K_1 = R^{3/8} = \left\{ \left[ \frac{(\theta - \text{sen } \theta)}{8} \right] \left[ \frac{(1 - \text{sen } \theta/\theta)}{4} \right]^{2/3} \right\}^{3/8} \quad (14)$$

Desta maneira, a fórmula de Manning para a seção circular, de modo condensado, torna-se:

$$D = \frac{M}{K_1}, \text{ em que } M = \left( \frac{nQ}{\sqrt{I_0}} \right)^{3/8} \quad (15)$$



onde,  $A$  é a área molhada ( $m^2$ ),  $D$  é o diâmetro da tubulação ( $m$ ),  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros de forma da seção,  $M$  é o coeficiente dinâmico,  $K$  é o coeficiente de forma,  $n$  é a rugosidade da tubulação adotada,  $Q$  é a vazão ( $m^3 s^{-1}$ ),  $I_0$  é a declividade de fundo da tubulação ( $m m^{-1}$ ) e  $Y_0$  é a altura da lâmina de água monitorada ( $m$ ).

#### d) Canal regular

A estrutura hidráulica é composta por um canal uniforme e retilíneo que possui uma seção transversal, rugosidade nas paredes e declividade constantes (PIMENTA, 1981).

O canal regular possui fórmulas fundamentais que estabelecem uma relação entre a velocidade média ( $v$ ), uma dimensão característica da seção geralmente o raio hidráulico ( $R_h$ ), a declividade ( $I$ ) do canal e o coeficiente universal de perda de carga  $C$  de Chezy (Equação 16) ou  $n$  de Manning (Equação 17) (KING et al., 1957).

$$V = C \sqrt{R_h I} \quad (16)$$

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I^{1/2} \quad (17)$$

onde,  $v$  é a velocidade média ( $m s^{-1}$ ),  $R_h$  é o quociente da seção molhada pelo perímetro molhado,  $I$  é a declividade da superfície livre, a qual é a tangente do ângulo que faz a linha d'água com a horizontal, ( $m m^{-1}$ ),  $C$  é o coeficiente de rugosidade de Chezy e  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning.

A vazão desta estrutura pode então ser calculada por:

$$Q = AV \quad (18)$$

onde,  $Q$  é a vazão ( $m^3 s^{-1}$ ),  $A$  é a área molhada do canal ( $m^2$ ) e  $V$  é a velocidade média ( $m s^{-1}$ ).

Portanto, conhecendo a geometria da estrutura, pode-se estabelecer uma relação segura da vazão com o nível d'água. Substituindo a equação 16 ou equação 17 na equação 18, obtêm-se as expressões das vazões.

$$Q = AC\sqrt{R_h I} \quad (19)$$

$$Q = \frac{1}{n} AR_h^{2/3} I^{1/2} \quad (20)$$

O coeficiente universal de perda de carga C (Chezý) e n (Manning) variam com as características do canal, ou seja, os coeficientes estão em função da natureza das paredes (PIMENTA, 1981). Além disso, para estes coeficientes (C e n), existem tabelas teóricas para projetos, ou ainda, podem ser facilmente “medidos” por meio de medição de vazão.

### 2.4.3. Balanço hídrico

O balanço hídrico, descrito de forma geral, é o somatório das quantidades de água que entram e saem de um sistema em um determinado intervalo de tempo. Vários modelos para estimar a demanda hídrica para a cultura do arroz irrigado foram desenvolvidos. Uma fórmula simplificada de modelo é apresentada por UFRGS (1997), sintetizada na expressão abaixo.

$$I = \Delta W + L + D_p + ET_m + Q_L - P \quad (21)$$

Onde, I é a irrigação em mm;  $\Delta w$  é a lâmina necessária para saturar o solo em mm; L é a lâmina superficial de inundação em mm;  $D_p$  é a percolação profunda em mm;  $ET_m$  é a evapotranspiração máxima da cultura em mm;  $Q_L$  é a percolação horizontal em mm e P é a precipitação em mm.

Outro modelo de balanço hídrico é apresentado por Rosso (2007).

$$H = Ir + Prec - ETc - P_p - P_L - R - Dr \quad (22)$$

Onde, H é a lâmina de saturação do solo mais a lâmina superficial em mm; Ir é a irrigação em mm; Prec é a precipitação em mm; ETc é a evapotranspiração da cultura em mm; P<sub>P</sub> é a percolação profunda em mm; P<sub>L</sub> é a percolação lateral em mm; R é o escoamento superficial em mm e Dr é a drenagem em mm.

#### 2.4.3.1. Componentes de um balanço hídrico

A necessidade de água para condução de uma lavoura de arroz irrigado está condicionada a vários fatores tais como: tipo de solo, condições climáticas, eficiência no manejo, cultivares.

Para obter-se uma estimativa da necessidade de água na lavoura de arroz, pode-se subdividi-la em três componentes: (a) água para saturação do solo e formação da lâmina; (b) para suprir a evapotranspiração; e, (c) para compensar as perdas por percolação profunda e lateral (VOLTOLINI et al., 2002).

A água necessária para saturar o solo depende da porosidade deste, da umidade inicial e da profundidade da camada de solo (VOLTOLINI et al., 2002). É comum os produtores aproveitarem as precipitações para a saturação e preparo inicial do solo (ROSSO, 2007; IRGA, 2001). A água necessária para saturar o solo é expressa na equação 23.

$$V_{sat} = (Pt - Uv).h \quad (23)$$

Onde, V<sub>sat</sub> é o volume para saturar o solo em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; Pt é a porosidade total de cada horizonte (%); U<sub>v</sub> é a umidade volumétrica de cada horizonte (%); h é a altura de cada horizonte a ser saturado (m);

Para calcular a umidade volumétrica é utilizada a Equação 24.

$$Uv = \left( U_g \frac{Ds}{Da} \right) \quad (24)$$

Onde, U<sub>v</sub> é a umidade volumétrica em %; U<sub>g</sub> é a umidade gravimétrica em %; Ds é a densidade do solo em g cm<sup>-3</sup>; Da é a densidade da água 1,0 em g cm<sup>-3</sup>.

A altura da lâmina de água superficial numa lavoura de arroz é determinada em função dos cultivares utilizados, do grau de infestação e tipo de plantas daninhas, condições do micro relevo e da necessidade de manter uma determinada temperatura no solo, pois a água funciona como termo-regulador. No estado do Rio Grande do Sul normalmente adota-se a lâmina superficial constante de 10 cm (IRGA, 2001).

A evapotranspiração é a componente de maior importância na demanda hídrica do arroz irrigado, sendo influenciado pelas condições meteorológicas. Tsutsui (1972) afirma que em média os valores de evapotranspiração da cultura do arroz oscilam entre 4 e 7 mm dia<sup>-1</sup>. No Estado do Rio Grande do Sul, a evapotranspiração da lavoura orizícola varia entre 6,7 e 7,7 mm dia<sup>-1</sup> no período de irrigação (MOTTA et al., 1990).

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi estimada a partir do método de Penman-Monteith (Equação 25) Boletim da FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[ \frac{900}{T + 273} \right] u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (25)$$

Onde,

ET<sub>o</sub> – Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

R<sub>n</sub> – Saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

G – densidade de fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

T – Temperatura média diária (°C);

u<sub>2</sub> – Velocidade do vento a 2 m de altura do solo (m s<sup>-1</sup>);

E<sub>a</sub> – Pressão real de vapor (kPa);

E<sub>s</sub> – Pressão de saturação de vapor (kPa);

Δ – Declividade da curva de saturação de vapor (kpa °C<sup>-1</sup>);

γ - Constante psicométrica (MJ kg<sup>-1</sup>).

Com a evapotranspiração de referência, é possível calcular a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), equação 26 do Boletim da FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

$$ETc = ET_o K_{ci} \quad (26)$$

Onde, ETc é a evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>); Eto é a evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>); e K<sub>ci</sub> é o coeficiente da cultura (medido para o ciclo ou por estágio de desenvolvimento).

Para calcular o Kc (coeficiente da cultura) é utilizado a equação 27 da FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

$$K_{ci} = K_{cprev} + \left[ \frac{i - \sum(L_{prev})}{L_{etapa}} \right] (K_{cprox} - K_{cprev}) \quad (27)$$

Onde, K<sub>ci</sub> é o coeficiente de cultivo para o dia i; K<sub>cprev</sub> é o Kc anterior; i é o número de dias dentro da temporada de crescimento;  $\sum(L_{prev})$  é a soma das durações das etapas prévias; L<sub>etapa</sub> é a duração da etapa considerada; K<sub>cproc</sub> é o Kc próximo.

O componente de perdas por percolação profunda depende da textura do solo e do nível de lençol freático. Segundo Tsutsui (1972), os valores médios desta variável situam-se entre 3 e 6 mm dia<sup>-1</sup>. De Datta et al. (1975) informam que as perdas por drenagem profunda são ocasionadas pelas condições físicas e topográficas do solo, sendo que onde o mesmo é pesado, ou o nível freático esta perto da superfície, estas perdas são baixas, não superando a taxa de 1 mm dia<sup>-1</sup>. Entretanto para solos leves e com nível do lençol freático profundo, as perdas podem ser muito altas, em torno de 10 mm dia<sup>-1</sup>, sendo que nestas condições é difícil manter o solo inundado.

Para o cálculo da percolação vertical e lateral foram utilizadas as equações 28 e 29 (UFRGS, 1997):

$$P_v = K_o i_v t \quad (28)$$

$$P_L = K_o i_L P_E P_A t \quad (29)$$

Onde;  $P_V$  é a percolação vertical em mm;  $Ko$  é a condutividade hidráulica saturada em  $\text{mm d}^{-1}$ ;  $t$  é o tempo do período da irrigação em dias;  $P_L$  é a percolação lateral em mm;  $P_E$  é a profundidade do solo até a camada de impedimento em m; e  $P_A$  é a relação perímetro (da lavoura)/área da lavoura ( $\text{m}^{-1}$ ), obtido pela divisão do perímetro da lavoura (m) pela área da mesma (ha); e  $i_V$  e  $i_L$  são os gradientes hidráulicos, dado por:

$$i_V = \frac{\Delta h}{l} \quad (30)$$

Onde:  $i_V$  é o gradiente hidráulico vertical (adimensional);  $\Delta h$  é a altura da lâmina superficial em m;  $l$  é a espessura do solo até a camada de impedimento em m;

$$i_L = \frac{\Delta h}{Bt} \quad (31)$$

Onde:  $i_L$  é o gradiente hidráulico lateral;  $\Delta h$  é a altura da lâmina superficial em m;  $Bt$  é a largura da base da taipa da lavoura em m;

$$Ko_v = \frac{l}{\frac{\Delta l_1}{Ko_1} + \frac{\Delta l_2}{Ko_2} + \dots + \frac{\Delta l_i}{Ko_i}} \quad (32)$$

$$Ko_L = \frac{1}{l} * (Ko_1 \Delta l_1 + Ko_2 \Delta l_2 + \dots + Ko_i \Delta l_i) \quad (33)$$

Onde:  $Ko_v$  é a condutividade hidráulica saturada vertical em  $\text{mm h}^{-1}$ ;  $Ko_L$  é a condutividade hidráulica saturada lateral em  $\text{mm h}^{-1}$ ;  $\Delta l_i$  é a espessura do horizonte  $i$  em m;  $Ko_i$  é a condutividade hidráulica saturada do horizonte  $i$  em  $\text{mm dia}^{-1}$ .

As perdas por percolação lateral dependem da espessura da taipa e a diferença de nível entre elas (ROSSO, 2007). Em geral grande parte da água perdida por percolação lateral é reaproveitada na quadra seguinte ou através da coleta no sistema de drenagem superficial, portanto as perdas laterais assumem maior importância nas quadras que formam os limites à área irrigada.

## 2.5. Solos de várzea

Os solos de várzea no Rio Grande do Sul ocupam uma área de aproximadamente 5,4 milhões de hectares, o que representa 20% da área total do Estado (REICHERT et al., 2006). Esses solos são normalmente encontrados nas planícies de rios e lagos, formando-se em condições de deficiência de drenagem (hidromorfismo), em consequência do relevo plano. Deste modo, predominam cores acinzentadas ou escurecidas, indicativas de baixa permeabilidade, o que não é regra geral, pois também existem solos de várzea com alta permeabilidade.

Os solos de várzea apresentam atributos físicos favoráveis ao cultivo do arroz irrigado mas que dificultam o estabelecimento de sistemas alternativos que envolvam culturas de sequeiro. Estes solos se caracterizam por apresentarem naturalmente: baixa profundidade efetiva, densidade alta, baixa porosidade, elevada relação micro/macroporos, baixa velocidade de infiltração, drenagem deficiente e baixa capacidade de aeração ( PEÑA et al.,1996; LIMA et al., 2003).

Os solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul apresentam drenagem naturalmente deficiente, decorrente de densidade elevada, baixa porosidade total, alta relação micro/macroporos, presença de camada subsuperficial com baixa permeabilidade e de relevo plano a suave ondulado. Solos situados em patamares mais elevados ou em terras adjacentes às várzeas, de relevo suave ondulado a plano, eventualmente também são usados com cultura de arroz irrigado (EMBRAPA, 2009).

Os solos próprios para o cultivo do arroz irrigado caracterizam-se pela topografia plana, geralmente hidromórficos, permanecendo saturados em períodos de maior precipitação. A drenagem deficiente está relacionada não apenas à topografia plana, mas principalmente à ocorrência de horizontes argilosos, que, por apresentarem uma condutividade hidráulica muito baixa, dificultam a percolação da água no perfil. Estas características, normalmente desfavoráveis para outros cultivos, tornam-se adequadas para o cultivo do arroz irrigado, facilitando a manutenção de uma lâmina d'água sobre a superfície do solo (RAUBER, 2004).

Até um determinado ponto, as condições apresentadas pelos solos de várzea podem ser consideradas favoráveis para o cultivo do arroz irrigado, por reduzir as perdas de água e de nutrientes; porém, são restritivas ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas de sequeiro, podendo, em casos extremos de

compactação, ser prejudiciais mesmo para o arroz irrigado. Em função disso, a heterogeneidade do material de origem e os diferentes graus de hidromorfismo apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, o que determina seu agrupamento em diferentes classes, com diferentes limitações (GONÇALVES, 2007).

O arroz irrigado pode ser cultivado em vários tipos de solos, mas sempre se levando em consideração as características físicas capazes de influenciar na disponibilidade de água para as plantas (PLANETA ARROZ, 2000). Os solos argilosos ou argilo-siltosos, com cerca de 40 a 60% de argila, são os solos ideais para a cultura do arroz irrigado. Esses solos deverão apresentar o lençol freático próximo à superfície na maior parte do tempo e precisam ocupar regiões planas. Além disso, é importante que a camada subsuperficial seja bastante impermeável para maior retenção da água na camada arável (SANTOS et al., 2003).

Sabe-se que grande parte das lavouras de arroz irrigado não apresentam solos ideais (SANTOS et al., 2003), e, sim apresentam solos adequado à inadequado. O solo inadequado para o cultivo do arroz irrigado é aquele que apresenta baixo teor de argila, lençol freático profundo e camada subsuperficial pouca impermeável.

O conhecimento e o entendimento das propriedades físicas do solo, além das químicas e biológicas, tem recebido importância fundamental dentro do conceito de sustentabilidade sob a ótica de uma visão holística e sistêmica do solo nos últimos anos. A relação entre a qualidade do solo e o seu manejo pode ser avaliada pelo comportamento de suas propriedades físicas e biológicas principalmente (DORAN; PARKIN, 1994).

Os efeitos diferenciados sobre os atributos físicos devido ao tipo de preparo de solo adotado em cada sistema de manejo, são dependentes da intensidade de revolvimento, do trânsito de máquinas, do tipo de equipamento utilizado, do manejo dos resíduos vegetais e das condições de umidade do solo no momento do preparo. O manejo incorreto de máquinas e equipamentos agrícolas leva à formação de camadas subsuperficiais compactadas, e tem sido apontado por Campos et al. (1995), como uma das principais causas de degradação da estrutura do solo e da redução da produtividade das culturas. As alterações das propriedades físicas do solo pelo manejo são dependentes de sua textura e mineralogia, que influenciam a



resistência e a resiliência do solo a determinada prática agrícola (SEYBOLD et al., 1999).

Desta forma, o monitoramento da qualidade do solo é importante e necessário e pode ser realizado pela avaliação dos seus atributos físicos, imprescindíveis à sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Carvalho et al. (2004), caracterizam os atributos a serem utilizados como bons indicadores para o monitoramento da qualidade do solo como aqueles que sofrem alterações em médio prazo, tais como a densidade, a porosidade, o estado de agregação e compactação, o conteúdo de matéria orgânica e o nível de atividade biológica.

#### *2.5.1. O perfil do solo para o cultivo do arroz irrigado*

O solo, após atingir sua maturidade, apresenta, a partir da superfície, um perfil, o qual é caracterizado por várias zonas designadas de horizontes. As espessuras de cada horizontes são bastante variadas, apresentando desde centímetros até metros (RESENDE et al., 2002 e AZEVEDO; DALMOLIN, 2006).

O perfil do solo mostra uma sequência vertical de camadas mais ou menos paralelas à superfície, resultantes da ação dos processos de formação do solo, ou seja, os processos pedogenéticos (STRECK et al., 2008). Estas camadas são chamadas de horizontes pedogenéticos, que são diferenciados entre si pela espessura, cor, textura, estrutura entre outras características. Deste modo, os principais horizontes pedogenéticos e camadas, não necessariamente presentes em todos os perfis, são: A, E, B, C, O, H.

Os perfis dos diversos tipos de solos das diferentes regiões do Estado mostram uma grande heterogeneidade quanto à presença e à sequência de horizontes, bem quanto à espessura e cor. Além dessas propriedades visíveis, os horizontes de cada solo podem variar quanto à textura, à estrutura, ao teor de matéria orgânica e outros atributos. Isto implica que o mesmo tipo de horizonte pedogenético pode apresentar diferenças de um solo para outro (FLORES; ALBA, 2009 e STRECK et al., 2008). Estas diferenças representam qualidades ou limitações ao uso para determinados fins (cultivo de arroz irrigado), além de refletir o ambiente particular de formação de cada solo, ou seja, variações quanto ao material de origem, clima, relevo, drenagem.

### *2.5.2. Morfologia e principais classes de solos para o cultivo de arroz irrigado no Estado do RS*

A morfologia do solo é a expressão direta ou indireta dos eventos pedogenéticos ocorridos em um dado material (PEDRON, 2007). Além disso, a observação e anotação de características morfológicas podem ser efetuadas de forma simples, no próprio campo, sem a necessidade de equipamentos sofisticados, o que facilita a obtenção dos dados para definição da classe de solo.

As características morfológicas representam a aparência do solo no campo, sendo visíveis a olho nu ou perceptível por manipulação (STRECK et al., 2008). Dessa forma, a sua feição, no perfil de solo, é utilizada na identificação de solos, na avaliação da capacidade de uso da terra, no crescimento de plantas e no diagnóstico de degradação em propriedades do solo.

As principais classes de solo identificadas, no Estado do RS, e aptas ao cultivo do arroz irrigado (SiBCS - EMBRAPA, 2006; STRECK et al., 2008; FLORES e ALBA, 2009) são: Chernossolos Carbonáticos vertissólicos \*(Uruguaiana); Chernossolos Háplicos típicos \*(Vila); Chernossolos Argilúvicos Órticos vertissólicos \*(Ponche Verde); Luvisolos Háplicos Órticos típicos \*(Piraí); Luvisolos Háplicos pálicos plínticos \*(Virginia); Neossolos Fúlvicos Distróficos gleissólicos \*(Guaíba); Plintossolos Argilúvicos Eutróficos petroplínticos \*(Durasnal); Vertissolos Ebânicos Órticos chernossólicos \*(Escobar, Aceguá); Planossolos \*(Pelotas, Vacacaí, Mangueira, Bagé, São Gabriel, Barros, Palmares); Gleissolos \*(Taim, Colégio, Itapeva). (\*Antigos nomes regionais das unidades de mapeamento BRASIL, 1973).

Os Chernossolos Carbonáticos vertissólicos (Uruguaiana), Chernossolos Háplicos típicos (Vila) e Chernossolos Argilúvicos Órticos vertissólicos (Ponche Verde) possuem sequência de horizontes A-Bt-C e/ou A-Bi-C, apresentando drenagem imperfeita. Em relação à textura, no horizonte B ou C, classifica-se como argilosa (2:1) que são argilas expansivas, isto é, quando molhadas, incorporam moléculas de água na sua estrutura cristalina, o que tem como consequência um aumento de volume. Assim, o que difere as três classes é o relevo, pois nos Chernossolos Carbonáticos vertissólicos predomina relevo plano e suave ondulado, enquanto que nos Chernossolos Háplicos típicos o relevo é plano e nos Chernossolos Argilúvicos Órticos vertissólicos é suave ondulado.

Os Luvisolos Háplicos Órticos típicos (Piraí) e Luvisolos Háplicos pálicos plínticos (Virginia) possuem sequência de horizontes A-Bt-C, tendo sua classe de drenagem de moderado a imperfeitamente drenado, onde apresentam textura argilosa (2:1) no horizonte B ou C. A diferença entre as classes está no relevo, sendo ondulado no Luvisolos Háplicos Órticos típicos e plano a suave ondulado no Luvisolos Háplicos pálicos plínticos.

Os Neossolos Fúlvicos Distróficos gleissólicos (Guaíba) apresentam sequência de horizontes A-R, A-C, A-C-R, A-Cr-R, O-R ou H-C. Possuem drenagem moderada à imperfeita, textura média no horizonte B ou C e relevo plano. Já os Plintossolos Argilúvicos Eutróficos petroplínticos (Durasnal) apresentam sequência de horizontes A-Bf-C com classe de drenagem moderada à imperfeitamente drenada e com relevo suave ondulado. A textura do horizonte B ou C é média a argilosa.

Os Vertissolos Ebânicos Órticos chernossólicos (Escobar, Aceguá) possuem sequência de horizontes A-Cv e/ou A-Biv-Cv. Sua drenagem é classificada como imperfeitamente drenada, apresenta textura argilosa (2:1) no horizonte B ou C e o relevo é suave ondulado.

Os Planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrados, predominantemente, em áreas de várzea, com relevo plano a suave ondulado. Apresentam perfis com sequência de horizontes A-E-Btg-C, com o horizonte A geralmente de cor escura e o horizonte E de cor clara, ambos de textura mais arenosa, com passagem abrupta para o horizonte Btg (B plânico) bem mais argiloso e adensado, de cor acinzentada com ou sem mosqueados vermelhos e/ou amarelos.

Os Gleissolos são solos pouco profundos a profundos, muito mal drenados, de cor acinzentada ou preta, apresentando, no perfil, uma sequência de horizontes A-Cg ou A-Bg-Cg ou H-Cg, onde os horizontes Bg e Cg são horizontes glei. Desta forma, o horizonte glei é subsuperficial ou eventualmente superficial, com espessura maior que 15 cm, mal drenado, apresentando cores cinzentas, com ou sem mosqueados.

## **2.6. Características físicas de solos de várzea**

### *2.6.1. Condutividade hidráulica do solo*

A condutividade hidráulica do solo é um parâmetro que representa a facilidade com que o solo transmite água, e seu valor é máximo quando o solo se

encontra saturado, sendo denominada de condutividade hidráulica saturada (REICHARDT, 1990). A composição mineralógica, o tamanho e a distribuição das partículas do solo, os vazios do solo e as características dos fluídos percolantes são fatores que influenciam a condutividade hidráulica do solo, ou permeabilidade. Outro fator importante de influência na velocidade de percolação dos fluídos no solo é a presença de matéria orgânica, a qual pode diminuir a permeabilidade do solo, quando encontrada em quantidades menores e totalmente decomposta; ou pode aumentar a permeabilidade, quando encontrada em grande quantidade no solo e pouco decomposta.

A condutividade hidráulica do solo ( $K$ ) pode ser descrita como uma função  $K(\theta)$ , em que  $\theta$  representa a umidade volumétrica do solo, que traduz o quanto o solo conduz água em dada umidade (KLEIN; LIBARDI, 2002). Portanto, para um dado solo, a condutividade hidráulica ( $K$ ) é tanto maior, quanto maior for sua umidade ( $\theta$ ), atingindo seu valor máximo quando o solo está saturado, denominando-se condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ).

A ocorrência de uma camada de menor permeabilidade da água no perfil do solo limita a capacidade de infiltração desse perfil, o qual apresentará uma capacidade igual à permeabilidade da camada limitante. Essa camada de impedimento poderá ser tanto arenosa como argilosa, dependendo da condição inicial de umidade do solo. Uma camada argilosa limita a infiltração em condições de saturação do solo, enquanto uma camada arenosa limita a infiltração em condições não saturadas do perfil (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000).

A condutividade hidráulica, em solo saturado, é uma das propriedades de maior relevância para estudos de movimento de água e solutos no solo (MESQUITA; MORAES, 2004). Sua determinação, em laboratório e campo, produz resultados com elevada dispersão, o que indica que esta propriedade é altamente variável. A condutividade hidráulica saturada, em solo saturado, é também dependente das demais características físicas do solo, principalmente de sua densidade, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade.

### *2.6.2. Densidade do solo e de partícula*

Para avaliar o comportamento de solos de várzea em relação aos diferentes sistemas de cultivo, a densidade do solo é um dos mais importantes parâmetros

físicos para caracterizar e avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo na compactação do solo (PEDROTTI; DIAS JÚNIOR, 1996). A densidade do solo reflete o arranjo das partículas do solo, que, por sua vez, define as características do sistema poroso. Assim, todas as manifestações que influenciam a disposição das partículas do solo afetarão diretamente os valores da densidade.

A densidade do solo é um parâmetro que serve como índice de compactação do solo e é muito utilizada nas avaliações do estado estrutural dos solos (SCAPINI et al., 1998). Há indicações da existência de limites críticos de densidade do solo ao crescimento radicular, porém esses limites são variáveis para diferentes tipos de solos e plantas (RUBIN et al., 1998). Valores críticos de densidade do solo foram propostos por Michelin (2005), que agrupou os solos em sete faixas de teor de argila assim descritas: 0-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70 e superior a 70%, com os valores seguintes, 1,60, 1,55, 1,50, 1,45, 1,40, 1,35 e 1,30  $\text{g cm}^{-3}$ , respectivamente.

A densidade do solo expressa a relação entre a massa das partículas secas e o volume ocupado pelo conjunto de partículas e poros do solo. É um dado frequentemente utilizado no estudo dos solos, pois permite converter o percentual em massa de água para o conteúdo em volume; calcular a porosidade do solo, quando conhecida a densidade de partículas ( $d_p$ ) e avaliar alterações na estruturação e porosidade resultantes do manejo do solo (KIEHL, 1979). Ela está intimamente relacionada às outras características do solo. Segundo Moraes et al. (2006) a compactação do solo resulta do aumento da densidade na camada superficial e consequente redução da porosidade, além de outros fatores. Seu trabalho cita um valor médio para a densidade do solo, comumente encontrado em solos argilosos com boas condições físicas, entre 1,0 e 1,20  $\text{g cm}^{-3}$ .

Solos com alta densidade apresentam valores menores de porosidade total (PAULETTO et al., 1993; PAULETTO et al., 2004). Essa redução, quando decorrente de um processo de compactação por forças exteriores, como tráfego de máquinas, uso inadequado ou excessivo de implementos agrícolas (BERTOL et al., 1998; BERTOL et al., 2000), pisoteio de animais, umidade inadequada por ocasião do preparo, afeta, inicialmente, os macroporos, estabelecendo-se no solo, uma inadequada relação água/ar para a maioria das espécies de sequeiro.

A densidade de partículas é definida como a relação entre a massa de sólidos de um solo seco e seu volume de partículas (CARTER, 1993). A densidade

de partículas não difere grandemente entre os solos, pois é dependente da constituição mineralógica dos mesmos. Na maioria das vezes, seus valores variam de 2,6 a 2,75 g cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> para a maioria dos solos, pois os principais minerais constituintes possuem densidades compreendidas nessa faixa.

### *2.6.3. Porosidade (macro e microporosidade) do solo*

Entre as partículas do solo e entre os agregados, existem espaços porosos oriundos do arranjo, distribuição e orientação das partículas do solo, que podem armazenar água e ar, necessários para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, dos microrganismos e animais do solo (FIORIN, 2008). Dessa forma, o volume total de poros é denominado de porosidade total do solo. Essa porosidade pode ser dividida em micro e macroporosidade.

O movimento do ar e da água, no solo, ocorre através dos macroporos. Paralelamente a isso, nos microporos, o movimento do ar é dificultado, e o da água fica restrito principalmente à capilaridade (HILLEL, 1980). Dessa forma, apesar dos solos arenosos apresentarem reduzida porosidade total, o movimento do ar e da água é rápido nesses lugares, em função da predominância de macroporos. Já nos solos de textura fina, apesar de apresentarem grande espaço poroso, o movimento dos gases e da água é relativamente lento, devido à presença predominante de microporos.

A quantidade e a maneira como os poros estão distribuídos no solo afetam diretamente a infiltração de água (ELTZ et al., 1989). A distribuição do tamanho dos poros interfere na capacidade de armazenamento e o movimento da água no solo (HILLEL, 1980). Esta distribuição depende da textura e estrutura do solo, podendo ser obtida através da curva característica de água. A água presente nos macroporos é facilmente drenada pela ação da gravidade, e parte da água retida, nos microporos, não é disponível às plantas. O solo ideal deve apresentar um volume e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas.

### *2.6.4. Textura e estrutura do solo*

A distribuição percentual da argila, silte e areia é considerada como a característica física mais estável do solo (MONTENEGRO, 1976), e sua correlação com a superfície específica torna-a uma das propriedades mais importantes do solo.

Os solos de textura grossa (arenosos) possuem maior quantidade de macroporos que os de textura fina (argilosos); conseqüentemente, apresentam maior condutividade hidráulica e taxa de infiltração. Entretanto, os solos argilosos bem estruturados, ou com estrutura estável, podem mostrar maiores taxas de infiltração do que os com estrutura instável, que sofrem dispersão quando umedecidos ou submetidos a algum agente desagregador (SILVA; KATO, 1997). A estabilidade dos agregados é determinada pelos chamados agentes cimentantes, que são representados, principalmente pela matéria orgânica e pelos óxidos de ferro e alumínio. Dessa forma, à medida que aumentam destes os teores compostos no solo, maior é a possibilidade dele apresentar estruturas mais estáveis.

#### *2.6.5. Infiltração de água no solo*

Infiltração é o termo utilizado para descrever o processo de entrada de água no solo, geralmente por fluxo descendente, por toda ou parte da superfície do solo (BORGES; LIBARDI, 2000; SILVEIRA et al., 2001; PAIXÃO et al., 2004). A entrada de água no solo depende das condições da superfície e quantidade de proteção contra o impacto das gotas da chuva, características internas da massa do solo, incluindo tamanho dos poros, profundidade da camada permeável até o horizonte adensado, expansibilidade da argila e colóides, conteúdo da matéria orgânica, grau de agregação, conteúdo de umidade do solo, grau de saturação, duração da chuva ou aplicação da água e temperatura do solo e da água (MUSGRAVE, 1955).

A taxa de infiltração de água no solo é definida como lâmina de água (volume por unidade de tempo) que atravessa a superfície, por unidade de tempo (BRANDÃO et al., 2006; FIORIN, 2008). O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo (PAIXÃO et al., 2004).

##### *2.6.5.1. Método de determinação da infiltração de água no solo*

A infiltração de água no solo pode ser determinada por métodos simples e capazes de representar as condições em que ele se encontra. Para tanto, torna-se necessário adotar métodos cuja determinação se baseia em condições semelhantes às aquelas observadas durante o processo ao qual o solo é submetido. (PRUSKI et al.,

1997a). A taxa de infiltração é muito influenciada pelas condições de superfície e de conteúdo de umidade do solo. O conhecimento dessas condições é de fundamental importância para a interpretação dos resultados.

Os infiltrômetros de duplos anéis concêntricos são equipamentos utilizados na determinação da taxa de infiltração de água no solo. Este método, em função da grande variabilidade dos resultados, necessita de um elevado número de determinações para que tais resultados sejam confiáveis (FABIAN; OTTONI FILHO, 1993). Isto ocorre devido à pequena profundidade de cravação dos anéis, que possibilita maior efeito de bordadura, e à pequena área amostrada, além da variabilidade espacial das características do solo.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo inclui três etapas. A primeira diz respeito à localização geral das áreas de várzea selecionadas para a implantação do estudo de caso. A segunda etapa compreende a quantificação do uso da água nas áreas de várzea. Esta etapa divide-se em: a) automonitoramento e medição de vazão; e b) balanço hídrico.

A terceira etapa do estudo inclui a caracterização dos solos de várzea, dividindo-se em: descrição morfológica, determinação das características físicas e, por fim, a classificação dos solos.

#### 3.1. Localização das áreas de estudo

O estudo foi conduzido em áreas de várzea, na cultura do arroz irrigado, em quatro municípios do Estado do Rio Grande do Sul: Cacequi, Cachoeira do Sul, Santa Maria e Manoel Viana (Figura 3.1), nos meses de primavera-verão do ano agrícola 2008/09. Foram selecionadas áreas de pequeno porte, variando de 0,66 a 30,1 hectares, como mostra a Tabela 3.1. A água para a irrigação foi retirada de barragem e rio, e conduzida por gravidade até as áreas monitoradas.

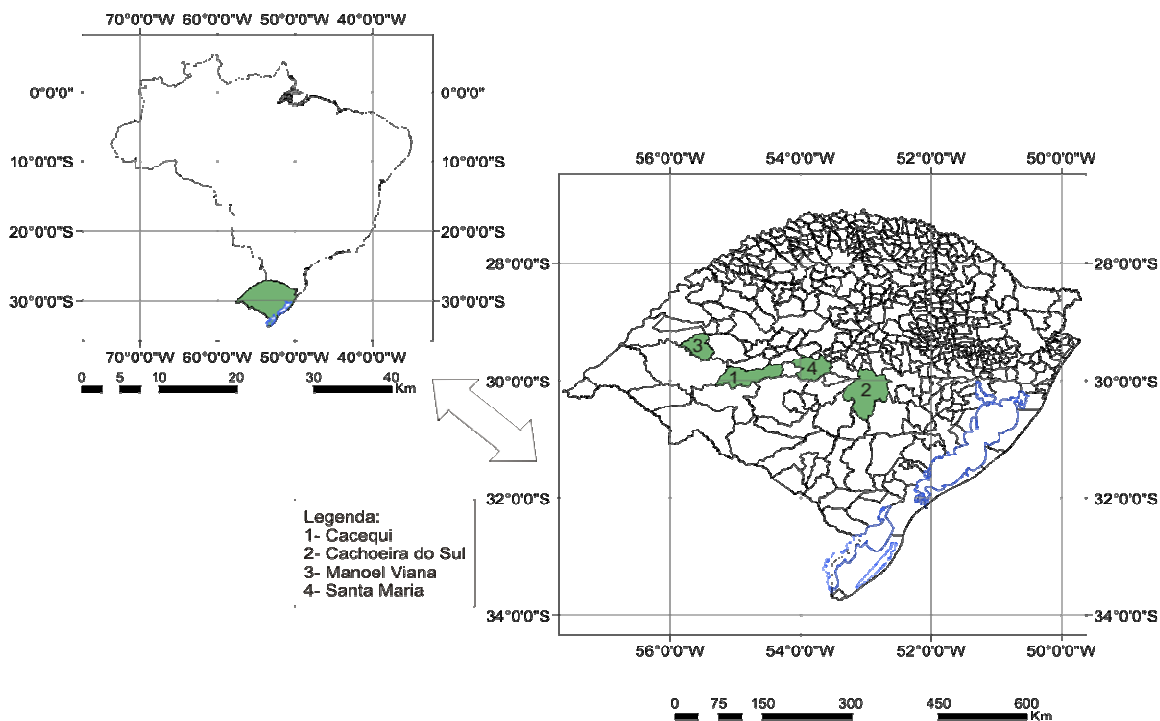


Figura 3.1 – Distribuição geográfica dos municípios onde foi instalado o experimento, em cada área selecionada, no ano agrícola 2008/09. Santa Maria, RS, 2010.

**Tabela 3.1 – Relação dos municípios, sistema de cultivo e área em hectares de cada local selecionado para a, implantação do método simplificado de medição de vazão e classificação do solo no ano agrícola 2008/09. Santa Maria, RS, 2010.**

Município/ RS	Sistema de cultivo	Área (ha)
Cacequi	Plantio Direto	23,5
	Cultivo Mínimo	30,1
Cachoeira do Sul	Convencional	0,80
	Pré-Germinado	0,66
	Plantio Direto	1,32
Manoel Viana	Cultivo Mínimo	4,0
Santa Maria	Cultivo Mínimo	11,5

### 3.2. Quantificação do uso da água nas áreas de várzea

#### 3.2.1. Automonitoramento e medição de vazão

Para o funcionamento da técnica do automonitoramento, foi necessário implantar, no canal de irrigação de entrada e/ou saída de cada área monitorada, estruturas hidráulicas (Tabela 3.2) que pudessem medir vazões. Para tanto, buscaram-se áreas com apenas uma entrada de água, pois se sabe que, no RS, a maioria das áreas apresentam uma ou mais entradas e/ou saídas de água. Esta implantação ocorreu nos meses de setembro e outubro de 2008, antes do início da irrigação e subdividiu-se em duas fases: instalação das estruturas hidráulicas e monitoramento da irrigação e da precipitação.

**Tabela 3.2 – Relação dos municípios, sistema de cultivo, local de entrada e saída de água na área e o tipo de estruturas hidráulicas implantadas em cada local . Santa Maria, RS, 2010.**

Município/RS	Sistema de cultivo	Entrada/saída de água na área	Tipo de estrutura hidráulica
Cacequi	Plantio Direto	Entrada	Vertedor retangular (metal)
		Entrada	Vertedor retangular (alvenaria)
	Cultivo Mínimo	Saída	Canal seção circular e vertedor triangular (metal) $\alpha=90^\circ$
Cachoeira do Sul	Convencional	Entrada	Vertedor triangular (metal) $\alpha=45^\circ$
	Pré-Germinado	Entrada	Vertedor triangular (metal) $\alpha=60^\circ$
	Plantio Direto	Entrada	Vertedor triangular (metal) $\alpha=45^\circ$
Manoel Viana	Cultivo Mínimo	Entrada	Vertedor triangular (metal) $\alpha=60^\circ$
Santa Maria	Cultivo Mínimo	Entrada	Canal regular (madeira)

### 3.2.1.1. Instalação das estruturas hidráulicas

Para a instalação das estruturas hidráulicas, em cada um dos locais escolhidos (canal de irrigação ou canal de drenagem), houve a necessidade de estudar e analisar as características físicas de cada local. Estas características foram de grande relevância, pois, com elas, pode-se buscar a estrutura hidráulica que se adequasse melhor a cada local de monitoramento. Nesse sentido, a implantação do automonitoramento necessitou de quatro diferentes tipos de estruturas hidráulicas (Tabela 3.2). O vertedor retangular e o triangular e o canal de madeira foram construídos e implantados nos locais determinados para o monitoramento. Já o canal de seção circular foi reutilizado, pois já havia sido implantado pelo produtor no canal de drenagem de uma das áreas monitoradas.

As estruturas hidráulicas selecionadas para este trabalho visam à economia e à facilidade de implantação, bem como à segurança na coleta de dados. Com um menor custo, tanto o pequeno, quanto o grande produtor podem adquirir qualquer uma das estruturas e ter a segurança na coleta de dados, pois se trata de estruturas simples e de fácil entendimento.

A seguir encontra-se a descrição da implantação de cada uma das estruturas hidráulicas projetadas para este estudo.

#### *(a) Vertedor retangular de soleira delgada com contração lateral*

Este tipo de estrutura hidráulica (Tabela 3.2) foi implantado nas duas áreas do município de Cacequi/RS. O que difere a estrutura de um local para outro é o tipo de material das paredes: metal (Figura 3.2) e alvenaria (Figura 3.3), mas ambas são de soleira delgada com contração lateral. Para a estrutura em alvenaria possuir soleira delgada, foi necessário implantar uma chapa de metal (Figura 3.3) sobre a soleira.

Para o vertedor retangular de soleira delgada com contração lateral, adotou-se a fórmula de Francis (Equação 1), para o cálculo da vazão.

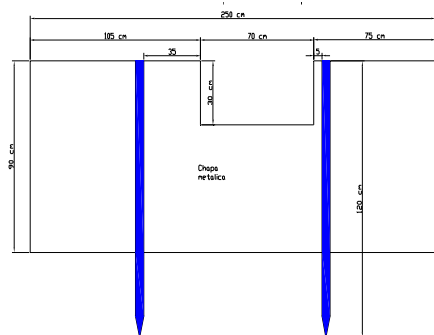


Figura 3.2 – Croqui e Vertedor Retangular em metal. Santa Maria, RS, 2010.



Figura 3.3 – Vertedor Retangular com soleira delgada em alvenaria. Santa Maria, RS, 2010.

(b) *Vertedor triangular de soleira delgada*

O vertedor triangular (Figura 3.4) foi implantado nos municípios de Cacequi; Cachoeira do Sul e Manoel Viana. O que diferenciou a estrutura de um local para outro foi a abertura angular ( $\alpha$ ), (Tabela 3.2). Para o cálculo da vazão, adotou-se as Equações 2, 3 e 4 de Gourley.

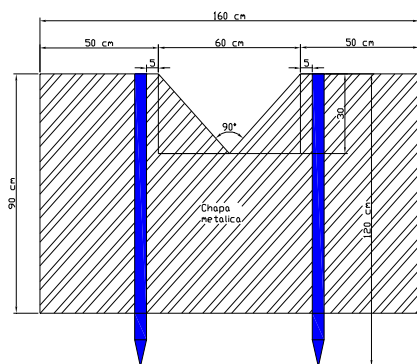


Figura 3.4 – Croqui e Vertedor triangular em metal. Santa Maria, RS, 2010.

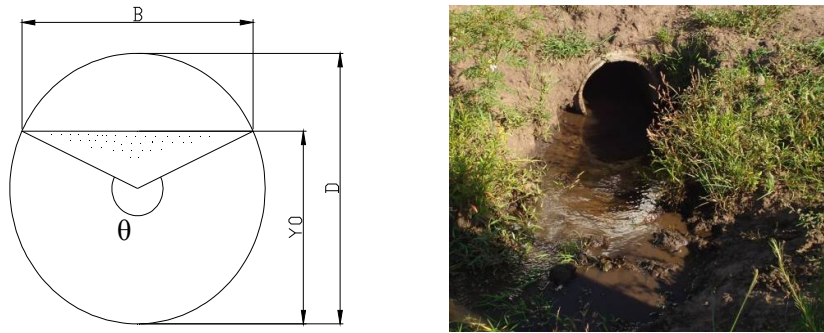
Tanto a estrutura retangular (Figura 3.2 ou 3.3), quanto a triangular (Figura 3.4) trabalharam vertendo com lâmina livre, ou seja, a região abaixo da lâmina de água ficou suficientemente arejada, de modo que a pressão reinante foi a pressão atmosférica (PORTO, 2004). Desta forma, para obter o correto funcionamento, e conseqüentemente, a correta coleta de dados, é importante que o vertedor trabalhe com lâmina de água livre.

A fim de se obter o correto funcionamento do vertedor (retangular e triangular), e, com isto, alcançar resultados confiáveis, necessitou-se de alguns critérios básicos de instalação como: (i) a estrutura deve estar engastada no solo, de maneira a evitar qualquer fluxo lateral e no fundo do canal, tendo, para isto, bordas laterais e inferiores prolongadas e afinadas; (ii) deve haver perfeita horizontalidade e verticalidade das ombreiras, por meio de nível de pedreiro e/ou nível de manga e prumo; (iii) a fixação de duas estacas de metal como recurso adicional para garantir a verticalidade das estruturas em metal; (iv) imediatamente abaixo da queda de água, deve ser feito um enrocamento de modo a impedir a erosão de jusante para montante, ou seja, na base da estrutura; (v) nas laterais da estrutura, deve-se utilizar materiais, como solo, leiva, madeira, pedregulho ou sacos plásticos com solo para evitar a erosão; (vi) instalar a estrutura em local que não ocorra turbulência de água, aumentando assim a precisão na leitura da carga (h); (vii) a implantação da régua a montante deve ter a uma distância de 3 a 6 vezes o valor da carga (h), Porto (2004); (viii) a régua deve estar corretamente nivelada com a soleira ou vértice do vertedor (LENCASTRE, 1972).

Todos os critérios acima mencionados são de suma importância, pois implicam correta coleta de dados, ou seja, coleta da carga hidráulica (h); mas o critério que possui maior relevância é o item (vi), pois é a base de todos os demais critérios. Assim, antes de implantar qualquer estrutura, é necessário selecionar um local no canal que não ocorra turbulência da água para a leitura da carga. Esta turbulência esta relacionada ao número de Reynolds, o qual classifica o movimento do fluido no canal como turbulento, laminar ou de transição.

### *(c) Vertedor circular*

A estrutura hidráulica (Tabela 3.2) consiste num tubo de concreto com diâmetro de 500 mm (Figura 3.5), onde foi reaproveitada e está fixada em canal de saída. Para o cálculo da vazão, utilizou-se a Equação 15 de Manning.



**Figura 3.5 – Canal seção circular em concreto. Santa Maria, RS, 2010.**

*(d) Canal regular*

Este modelo de estrutura (Tabela 3.2) foi implantado sobre o canal artificial em terra, na entrada de água da área monitorada (Figura 3.6). Seu material é em madeira e possui dimensões de: 200 cm de comprimento, 60 cm de largura e 20 cm de altura.

A construção da estrutura foi simples e barata. Houve a necessidade de fixar ripas na seção transversal (Figura 3.6), as quais serviram de apoio. Esta fixação foi importante para que não ocorresse leitura incorreta do nível da carga hidráulica. Além da fixação das ripas, para não ocorrer leitura incorreta, houve também a necessidade de nivelamento da estrutura. E, por fim, na figura 3.6, encontra-se a estrutura hidráulica em pleno trabalho.



**Figura 3.6 – Implantação, nivelamento e águação da estrutura sobre o canal em terra. Santa Maria, RS, 2010.**

A implantação do canal regular necessita de alguns cuidados como (LENCASTRE, 1972): (i) deve-se eliminar completamente a contração lateral; para isto, o canal que se implantar deverá ter paredes perfeitamente verticais bem alisadas e o comprimento da soleira vertente deve ser exatamente igual à abertura

do canal; (ii) a leitura da carga deve ser feita a uma distância da soleira nunca inferior a  $5h$  ou mesmo  $10h$ .

Na determinação da vazão, foi necessário o monitoramento, no período de irrigação, do nível da carga hidráulica, de maneira que este nível posteriormente foi transformado em vazão, por meio do estabelecimento da curva-chave. A elaboração da curva chave consiste na elaboração das curvas características do escoamento, sendo as soluções indicadas, estruturas hidráulicas de escoamento de superfície livre, a curva-chave é a curva a ser ajustada. Para isso, é preciso ter alguma seção de geometria conhecida para estabelecer a relação nível x vazão (curva-chave). O procedimento utilizado, neste trabalho, segue metodologia descrita por Lorensi (2008).

Após calcular a vazão observada, por meio de metodologia anteriormente mencionada, tem-se condições de aferir o coeficiente de rugosidade. Com a área conhecida, o raio hidráulico ( $R_h$ ) e a declividade ( $I$ ) da linha de água, pode-se obter o coeficiente de rugosidade na expressão de Manning, substituindo estes valores na equação 23.

#### 3.2.1.2. Monitoramento da água de irrigação e da precipitação

O monitoramento da água de irrigação realizado na entrada e/ou saída dos canais de irrigação se sucedeu por meio da planilha do observador representada na figura 3.7 e detalhada no Apêndice I. Esta planilha consistiu no preenchimento do nível da lâmina de água realizada diariamente durante o período de irrigação e de precipitação ocorrida. Os valores da carga hidráulica de irrigação e da precipitação fazem parte do balanço hídrico referente a cada área monitorada. O monitoramento da precipitação foi realizado por meio de pluviômetro graduado de fácil entendimento e manuseio.

A média diária das anotações do nível da carga hidráulica foi duas (manhã e tarde), tendo, em alguns casos, três anotações e, em outros, apenas uma anotação. Nos casos de três anotações, foi devido à alteração do nível da carga e conseqüentemente devido à alteração da vazão. Esta alteração ocorreu devido ao bombeamento maior ou abertura maior das comportas e, neste caso, necessitou-se de um número maior de anotações diárias do nível da carga hidráulica.

Para que o monitoramento da água de irrigação e precipitação fosse confiável, foi necessário o correto preenchimento dos dados na planilha. Para

garantir o correto preenchimento, foi importante realizar, junto aos produtores e funcionários das áreas, um treinamento básico, que envolveu a correta leitura dos dados em campo e o respectivo preenchimento na planilha.

A planilha foi organizada da seguinte maneira: na parte superior da planilha (Figura 3.7), foram reservados espaços para anotações dos dados como: sistema de cultivo, hectares monitorados (área), município, sistema de condução de água, forma de abastecimento, tipo de estrutura utilizada no local de monitoramento e nome do observador. Estes dados são chamados de dados de apoio.

As anotações dos dados principais nas colunas 1(data) e 2(hora) foram preenchidas no momento exato em que é feita a leitura da carga hidráulica (3). A carga é lida pelo observador por meio de uma régua linimétrica pouco deformável, de material metálico, a qual é acoplada a montante de cada estrutura. A carga é transformada de centímetros de carga d'água para metros. A quarta coluna "observações" serve para o anotador registrar o que está ocorrendo exatamente na data e hora da leitura da carga, ou seja, se a bomba está ligada/desligada, a comporta está aberta/fechada ou ainda se ocorreu precipitação.

Planilha de Campo - Observador			
Planilha de Acompanhamento de Entrada e Saída de Água			
Sistema de cultivo: _____			
Área (ha): _____			
Município: _____			
Sistema de condução da água: ( ) Gravidade ( ) Bombeamento			
Forma de Abastecimento: ( ) Rio ( ) Barragem ( ) Outros: _____			
Tipo de Estrutura: _____			
Observador: _____			
1	2	3	4
Data	Hora	Nível (m)	Observações

Figura 3.7 – Planilha do Observador. Santa Maria, RS, 2010.



### 3.2.2. Balanço Hídrico

#### 3.2.2.1. Balanço Hídrico para o Automonitoramento

Neste estudo, foi desenvolvido um modelo de balanço hídrico para o automonitoramento, semelhante ao aplicado por Molozzi (2006) para demonstrar o volume de água usado em cada área monitorada com arroz irrigado. Este modelo de balanço hídrico foi apontado como  $V_{\text{utilizado}}$  ou técnica de automonitoramento, e, é expresso pela equação 34:

$$V_{\text{utilizado}} = V_{\text{irrigação}} + Prec - Dr \quad (34)$$

Onde,  $V_{\text{utilizado}}$  é o volume total usado na lavoura em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ;  $V_{\text{irrigação}}$  é o volume aplicado com irrigação em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ;  $Prec$  é a precipitação direta na lavoura em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  e  $Dr$  é a drenagem superficial, ou seja, as perdas ocorrida no período de irrigação em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  (Apêndice I).

Os fluxos de entrada (irrigação e precipitação) e alguns fluxos de saída (drenagem superficial ou perdas) foram medidos por meio das estruturas hidráulicas. Métodos simples e pouco onerosos, para a medição de vazão, mas que forneçam dados igualmente confiáveis e aplicáveis, em um amplo intervalo de tempo, tornam-se extremamente relevantes. Desta forma, as estruturas hidráulicas utilizadas, nesta pesquisa, possuem geometria simples e bem definida. Estas estruturas relacionam a vazão à perda de energia, e isso se manifesta em altura de coluna de água. Determina-se a vazão, medindo-se a altura da superfície da água a montante (SANTOS et al., 2005).

#### 3.2.3.2. Balanço Hídrico para comparar com o automonitoramento

Para validar ou não o monitoramento realizado com a utilização das estruturas hidráulicas ( $V_{\text{utilizado}}$ ) realizou-se outro balanço hídrico seguindo metodologia de Rosso (2007). Este modelo é expresso na Equação 35.

$$V_{\text{sat}} + V_{\text{lâmina}} = V_{\text{irrigação}} + Prec - ETc - P_V - P_L - R - Dr \quad (35)$$

Ou, combinando com a equação 34:

$$V_{sat} + V_{l\grave{a}mina} = V_{utilizado} - ETC - P_V - P_L - R \quad (36)$$

E rearranjando:

$$V_{utilizado} = V_{sat} + V_{l\grave{a}mina} + ETC + P_V + P_L + R \quad (37)$$

Onde,  $V_{utilizado}$  é o volume total usado na lavoura em  $m^3 ha^{-1}$ ;  $V_{sat}$  é o volume da lâmina de saturação do solo em  $m^3 ha^{-1}$ ;  $V_{l\grave{a}mina}$  é a lâmina superficial em  $m^3 ha^{-1}$ ;  $ETC$  é a evapotranspiração da cultura em  $m^3 ha^{-1}$ ;  $P_V$  é a percolação profunda em  $m^3 ha^{-1}$ ;  $P_L$  é a percolação lateral em  $m^3 ha^{-1}$ ;  $R$  é o escoamento superficial em  $m^3 ha^{-1}$ .

Assim, para o cálculo da saturação do solo ( $V_{sat}$ ) usaram-se as equações 23 e 24. O cálculo da lâmina superficial ( $V_{l\grave{a}mina}$ ) foi estimada pelos próprios produtores. A evapotranspiração da cultura ( $ETC$ ), equação 26, foi estimada a partir da Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), equação 25 de Penman-Monteith e do coeficiente da cultura ( $K_{ci}$ ) equação 27. A  $ET_o$  foi estimada a partir de dados climáticos coletados nas estações meteorológicas (Tabela 3.3) próximas as áreas de estudo. As determinações dos valores diários de temperatura média, máxima e mínima, umidade relativa média, velocidade do vento média, insolação diária, pressão atmosférica média, precipitação acumulada e radiação solar foram utilizadas para calcular a evapotranspiração de referência a partir das equações do Anexo II.

**Tabela 3.3 – Relação dos municípios do Estado do Rio Grande do sul, sistemas de cultivo e estações meteorológicas usadas para a estimativa da ETo para a safra 2008/2009. Santa Maria, RS, 2010.**

Município	Sistema de cultivo	Período de monitoramento	Estação meteorológica automática do INMET
Cacequi	Plantio direto	23/11/08 a 15/02/09	São Gabriel
	Cultivo mínimo	16/11/08 a 15/02/09	
Cachoeira do Sul	Convencional	12/11/08 a 22/2/09	Rio Pardo
	Pré-germinado	20/10/08 a 25/02/09	
	Plantio direto	12/11/08 a 22/02/09	
Manoel Viana	Cultivo mínimo	15/12/08 a 09/03/09	Alegrete
Santa Maria	Cultivo mínimo	13/11/08 a 03/02/09	Santa Maria

Para o cálculo das percolações vertical e lateral usaram-se as equações 28 a 33.

O escoamento superficial ( $R$ ) foi desconsiderado neste estudo, devido a não ocorrência nas áreas monitoradas com arroz irrigado.

Assim, o volume do balanço hídrico ( $V_{BH}$ ) é representado pela equação 38, o qual foi gerado para comparar com o  $V_{utilizado}$ .

$$V_{BH} = V_{sat} + V_{l\acute{a}min a} + ETc + P_v + P_L \quad (38)$$

### 3.3. Caracterização dos solos

#### 3.3.1. Descrição morfológica dos solos de várzea

A descrição morfológica do solo envolveu características de perfil e ambientais (Anexo I). As características observadas em cada horizonte do perfil do solo foram: a sequência de horizontes e a sua profundidade, a cor do solo, a textura, a estrutura, a consistência, a presença de raízes e transição entre horizontes. Já as características ambientais observadas foram: rochiosidade, pedregosidade, relevo, localização, material de origem, clima, cobertura vegetal, uso atual da terra, erosão, altitude e drenagem do perfil (SANTOS et al., 2005).

Para a descrição morfológica, foi necessária a abertura de trincheiras com dimensões e profundidade suficiente para atingir o material originário. A maioria das

trincheiras teve profundidade aproximada de até 200 cm. Os horizontes foram diferenciados basicamente em função de características morfológicas.

### 3.3.2. Determinação das características físicas dos solos de várzea

Foram coletadas amostras de solo, com estruturas preservadas, em cada horizonte de cada perfil, para determinar as características físicas das áreas de várzea. Com estas amostras, foi possível determinar a densidade do solo, a microporosidade, a macroporosidade, a porosidade total e a condutividade hidráulica saturada. Para as análises de granulometria do solo e densidade de partículas, foram coletadas amostras com estrutura deformada, nas mesmas profundidades dos horizontes de cada perfil. Paralelamente a estas análises físicas, também, foi realizado o teste de infiltração de água no solo.

As análises físicas foram realizadas nos laboratórios da Universidade Federal de Santa Maria. A condutividade hidráulica saturada foi testada no Laboratório de Análises Físicas do Departamento de Solos e as demais análises, no Laboratório de Manejo e Conservação do Solo. O teste de infiltração de água no solo foi realizado a campo. As determinações analíticas, densidade do solo, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, condutividade hidráulica, granulometria e infiltração de água no solo, foram realizadas pela metodologia descrita por EMBRAPA (1997). A densidade de partículas foi realizada pelo método do balão volumétrico modificado descrito por Gubiani et al. (2006).

#### 3.3.2.1. Densidade do solo e de partícula

A densidade do solo foi determinada usando amostras de solo indeformadas, coletadas com auxílio de anéis de aço com volume conhecido (3 cm de altura X 5,5 cm de diâmetro). Foram retiradas 4 amostras de solo indeformadas de cada horizonte em cada perfil.

O cálculo da densidade do solo (EMBRPA, 1997) foi realizado segundo a Equação 39 abaixo:

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V} \quad (39)$$

onde,  $D_s$  é a densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ),  $M_{ss}$  é a massa de solo seco em estufa  $105^\circ\text{C}$  por 24 horas (gramas) e  $V$  é o volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

Para o cálculo da densidade de partículas, foi utilizada a Equação 40:

$$Dp = \frac{(PB + S - PB)}{\left[ \frac{50 - (PB + S + A) - (PB + S)}{DA} \right]} \quad (40)$$

onde,  $Dp$  é a densidade de partículas ( $\text{g cm}^{-3}$ ),  $PB+S$  é o peso do balão+solo (gramas),  $PB$  é o peso do balão (gramas),  $PB+S+A$  é o peso do balão+solo+álcool (gramas),  $DA$  é a densidade do álcool ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

### 3.3.2.2. Micro, macroporosidade e porosidade total

A microporosidade (EMBRAPA, 1997) foi obtida segundo a metodologia da mesa de tensão, sobre a qual se considera que a mesma corresponde à classe de diâmetro de poros que retêm água, quando se aplica uma coluna de água de 60 cm.

A equação utilizada foi:

$$Mi = \frac{(Ms_{60cm} - Mss)}{V} * 100 \quad (41)$$

onde,  $Mi$  é a microporosidade (%);  $Ms_{60\text{ cm}}$  é a massa de solo após 48 horas, na mesa de tensão a 60 cm de sucção de coluna de água (gramas);  $Mss$  é a massa de solo seco em estufa  $105^{\circ}\text{C}$ , por 24 horas (gramas) e  $V$  é o volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

Para calcular a macroporosidade (EMBRAPA, 1997), foi utilizada a seguinte equação:

$$Ma = \frac{(Ms_{sat} - Ms_{60cm})}{V} * 100 \quad (42)$$

onde,  $Ma$  é a macroporosidade (%);  $Ms_{sat}$  é a massa de solo saturado por 48 horas (gramas);  $Ms_{60\text{ cm}}$  é a massa de solo após 48 horas, na mesa de tensão a 60 cm de sucção de coluna de água (gramas) e  $V$  é o volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

Para calcular a porosidade total do solo (EMBRAPA, 1997), foi utilizada a Equação 43:

$$Pt(\%) = Ma(\%) + Mi(\%) \quad (43)$$

### 3.3.2.3. Determinação da condutividade hidráulica saturada do solo

A determinação da condutividade hidráulica saturada, em laboratório, foi realizada utilizando-se o permeâmetro de carga constante por meio de amostras indeformadas (EMBRAPA, 1997). A Equação 44 foi utilizada para o cálculo:

$$K = \frac{Q * L}{A * H * t} \quad (44)$$

onde, K é a condutividade hidráulica ( $\text{cm h}^{-1}$ ), Q é o volume percolado em ml, L é a altura do bloco do solo (cm), H é a altura do bloco do solo e da coluna (cm), A é a área do cilindro ( $\text{cm}^2$ ) e t é o tempo (horas).

### 3.3.2.4. Determinação da granulometria do solo

A composição granulométrica da fração fina foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Esse método baseia-se na dispersão química da amostra com solução de NaOH  $1 \text{ mol l}^{-1}$ , e dispersão física através de agitação. A fração areia foi separada por tamisamento úmido e a fração argila pela velocidade de sedimentação, considerando-se a lei de Stokes. A fração silte foi determinada pela diferença das massas de areia e argila do total. Para determinar a composição granulométrica, utilizaram as equações 45, 46 e 47.

$$\text{Teor de Argila} = [( \text{argila} + \text{NaOH} ) - \text{NaOH}] * 1000 * (20/\text{solo usado}) * \text{fator } f \quad (45)$$

$$\text{Teor de Areia} = [\text{areia} * (1000/\text{solo usado})] * \text{fator } f \quad (46)$$

$$\text{Teor de Silte} = (\text{Teor de Argila}) - (\text{Teor de Areia}) \quad (47)$$

onde, NaOH é o dispersante; fator f é a umidade (%).

### 3.3.2.5. Determinação da infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo foi determinada por meio do método dos duplos anéis concêntricos. Em cada área, foram realizados 5 testes de infiltração de água no solo (Figura 3.8). Os anéis maior e menor possuem, respectivamente, 40 e 20 cm de diâmetro, sendo 10 e 15 cm de altura. Os mesmos foram inseridos no solo de forma que ficassem concêntricos. Os anéis possuem uma das suas bordas afiadas para facilitar a sua introdução no solo e evitar a desestruturação deste solo no local, e a outra borda possui um reforço para suportar os golpes que são necessários na ocasião de sua introdução no solo. O anel maior foi introduzido a 5 cm, no interior do solo, e o menor a 10 cm. Para a medição do volume de água infiltrada, foi utilizado um infiltrômetro de 150 mm de diâmetro, com um registro de esfera de  $\frac{1}{2}$  polegada em ambas as extremidades, com uma escala graduada em intervalos de 10 ml, visualizada através de uma mangueira plástica transparente, suspensos por meio de um tripé de ferro e alocado sobre o anel menor, a fim de manter uma lâmina de água constante, com carga hidráulica de 4 cm de altura. O medidor confeccionado é semelhante ao descrito por Siqueira e Denardin (1985) e foi adaptado por Lanza Nova (2005). No anel maior, a lâmina de água foi mantida constante manualmente, com auxílio de galões, com carga hidráulica de 4 cm de altura. A lâmina de água do anel maior deve ser constante e mantida para assegurar que o processo de infiltração seja prioritariamente no sentido vertical e, conseqüentemente, não ocorra movimento lateral da água infiltrada a partir do anel menor. As leituras foram realizadas nos tempos de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 e 120 minutos após o início do teste. As observações de infiltração acumulada com o tempo foram computadas e convertidas em taxas de infiltração correspondente.



**Figura 3.8 – Detalhe dos duplos anéis concêntricos e do infiltrômetro utilizados para a determinação da infiltração de água no solo. Santa Maria, RS, 2010.**

### *3.3.3. Classificação dos solos de várzea*

A classificação dos solos de várzea sucedeu-se através da descrição morfológica, da composição granulométrica, das características químicas (Anexo I) e das características físicas de cada horizonte. Desta forma, com estes quatro elementos e com o auxílio do Sistema Brasileiro de Classificação de solo (SiBCS - EMBRAPA, 2006), foi possível classificar o solo de cada área monitorada até o quarto nível categórico.

Os solos, no primeiro nível categórico (ordens), são diferenciados por classes, conforme a presença de características que representam processos importantes em sua formação (EMBRAPA, 2006). As ordens foram diferenciadas por atributos e horizontes diagnósticos. O segundo nível categórico (subordens) compreendeu subdivisões das ordens baseadas na presença de características que apresentaram processos secundários na formação dos solos e que são importantes para o uso agrícola e não agrícola.

O terceiro nível categórico (grandes grupos) corresponde a subdivisões das subordens baseadas na presença de características morfológicas (tipo de horizontes), químicas (CTC, saturação de bases, etc.) ou físicas (restrições ao desenvolvimento de raízes e ao movimento de água no solo). E por fim, o quarto nível categórico (subgrupos) refere-se a subdivisões dos grandes grupos baseadas na presença de: a) variações em relação aos níveis categóricos superiores (solos intermediários entre duas classes), b) características extraordinárias ou c) típicas.



## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Características gerais das áreas de várzea**

Na Tabela 4.1 são apresentadas as características gerais das áreas monitoradas, como o período de irrigação (dias), a lâmina de água superficial (cm), o rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), o nivelamento superficial, o manejo de irrigação e a cultivar.

A área monitorada que teve o maior período de irrigação foi no município de Cachoeira do Sul, no sistema pré-germinado, o qual totalizou 126 dias de irrigação. Neste sistema, em áreas infestadas de arroz vermelho, recomenda-se, após o preparo do solo, deixar uma lâmina de água (10 cm) durante 20 a 30 dias antes da semeadura (EMBRAPA, 2005). Foi constatado, no município de Santa Maria, o menor período de irrigação, no cultivo mínimo; neste sistema, antes da semeadura, é utilizada a aplicação de herbicida de ação total para eliminar plantas nativas ou cultivadas (WEBER et al., 2003), ou seja, não há o uso de água anterior à semeadura, como no caso do sistema pré-germinado.

A lâmina de água aplicada nas duas áreas de Cacequi, por não possuírem nivelamento superficial, foram de aproximadamente 6 cm. Esta medida foi estimada pelos próprios produtores e utilizada para este trabalho. Nestas áreas, em alguns pontos, a lâmina de água ultrapassava 11 cm, e, em outros pontos, apenas 3 cm. Com a lâmina de água de 11 cm, na maioria dos casos, ocorria o extravasamento para fora das áreas. As demais áreas, por apresentarem nivelamento superficial, utilizaram 10 cm (medidos) em todos os pontos da lavoura. Para IRGA (2001), a lâmina de água superficial, ideal para a cultura do arroz irrigado, deve atingir em torno de 10 cm.

A técnica de manejo de irrigação, utilizada pelos produtores, em todas as áreas monitoradas, foi a intermitente. Esta técnica ocorre onde os suprimentos de água à lavoura são realizados em intervalos irregulares (SILVA; PARFITT, 2005). Ainda, essa técnica é chamada de banhos, onde apresenta como vantagem a dispensa de investimentos iniciais, pois utiliza a estrutura já instalada para a irrigação do arroz, podendo ser realizada tanto em terrenos com nivelamento superficial ou sem nivelamento superficial.

A cultivar usada pelos produtores, nas áreas monitoradas, foi: IRGA 422 CL e IRGA 424. A cultivar IRGA 424 obteve o maior rendimento de grãos de arroz (kg ha<sup>-1</sup>), como mostra a Tabela 4.1. Esta cultivar possui como principais características a baixa estatura das plantas, o ciclo médio, a tolerância à toxidez por excesso de ferro no solo e a resistência à brusone (CRUZ et al., 2007). Já a cultivar IRGA 422 CL apresentou um menor rendimento em relação à IRGA 424. Esta cultivar possui, como principal característica, a tolerância a herbicida para o controle do arroz vermelho (LOPES et al., 2004).

O rendimento de grãos não será discutido neste estudo, foram apresentados apenas para diferenciar uma cultivar da outra (IRGA 422 CL e IRGA 424). Para discutir o rendimento dos grãos deve-se levar em consideração, além do uso da água, outros fatores que aqui não foram abordados.

**Tabela 4.1 – Período de irrigação, lâmina d'água, rendimento de grãos de arroz, nivelamento superficial, manejo da irrigação, cultivar, município e sistema de cultivo de arroz irrigado das sete áreas de várzea, monitoradas durante a safra 2008/09. Santa Maria, RS, 2010.**

Período de irrigação (dias)	Lâmina superficial (cm)	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	Nivelamento superficial	Manejo de irrigação	Cultivar
83	6	<b>Cacequi – Plantio Direto</b> 7.251	Não nivelado	intermitente	IRGA 422 CL
90	6	<b>Cacequi – Cultivo Mínimo</b> 6.758	Não nivelado	intermitente	IRGA 422 CL
100	10	<b>Cachoeira do Sul – Convencional</b> 12.095	Nivelado	intermitente	IRGA 424
126	10	<b>Cachoeira do Sul – Pré-Germinado</b> 10.680	Nivelado	intermitente	IRGA 424
100	10	<b>Cachoeira do Sul – Plantio Direto</b> 11.680	Nivelado	intermitente	IRGA 424
84	10	<b>Manoel Viana – Cultivo Mínimo</b> 7.500	Nivelado	intermitente	IRGA 422 CL
80	10	<b>Santa Maria – Cultivo Mínimo</b> 7.400	Nivelado	intermitente	IRGA 422 CL

#### 4.2. Volume utilizado para a irrigação

Na Tabela 4.2, são apresentados os resultados do volume utilizado, automonitoramento (Equação 34), comprovando que os volumes (Apêndice I) usados em diferentes sistemas de cultivo, em área próxima uma da outra, não diferiram no uso da água. Este resultado está embasado nos estudos desenvolvidos por Marcolin; Macedo (2001); Machado et al. (2002); Machado et al. (2006). A similaridade do uso de água pode ser atribuída ao nivelamento superficial do terreno, evitando-se o escoamento superficial contínuo de água para os drenos, sendo a menor perda de água por infiltração através das taipas por já estarem consolidadas (WOPEREIS et al., 1994). Outro fator que pode estar ligado a esta similaridade, no uso de água, é semelhança na classe de solo. A exemplificação de tal similaridade, em terreno nivelado superficialmente, foi comprovado com o estudo nas áreas de Cachoeira do Sul. Já a similaridade no uso da água, na semelhança da classe de solo, destacou as áreas do município de Cacequi.

A irrigação e precipitação foram registradas no volume utilizado (Tabela 4.2) como fluxos de entrada. Já as perdas foram registradas como fluxo de saída. Estas perdas estão associadas à drenagem superficial. Em uma das áreas monitoradas de Cacequi (plantio direto) e nas áreas de Manoel Viana e Santa Maria (cultivo mínimo) não foram registradas perdas por drenagem superficial. Esta falta de registro pode estar associada ao nivelamento superficial do terreno (IRGA, 2004). Ainda pode estar ligado a classe de solos e também aos cuidados do aguador com a distribuição da lâmina de água superficial.

Já o oposto foi evidenciado nas demais áreas. No cultivo mínimo em Cacequi a drenagem superficial (perdas) foi monitorada por meio de vertedor triangular de 90° e canal de seção circular (Tabela 3.2). Esta área não apresentava nivelamento superficial no terreno. Nas áreas de Cachoeira do Sul houve o extravasamento total das precipitações. Conforme Jorge (*comm. pers.*), este extravasamento está ligado com a lâmina superficial, pois o aguador cessava a irrigação no momento inicial da precipitação, ocasionando assim, a perda total da mesma.

**Tabela 4.2 – Volume irrigado ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ), volume precipitado ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ), volume de perdas ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) e volume utilizado ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) nas sete áreas de várzea, na cultura de arroz irrigado durante a safra 2008/09, no Estado do RS. Santa Maria, RS, 2010.**

<b>Vol. Irrigado</b> ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )	<b>Vol. Precipitado</b> ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )	<b>Vol. Perdas</b> ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )	<b>Vol. Utilizado</b> ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )
<b>Cacequi – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>			
7.927	2.280	0	10.207
<b>Cacequi – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>			
9.746	2.210	2.421	9.535
<b>Cachoeira do Sul – Convencional – GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico</b>			
11.509	5.270	5.270*	11.509
<b>Cachoeira do Sul – Pré-germinado – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico</b>			
9.076	6.840	6.840*	9.076
<b>Cachoeira do Sul – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico</b>			
9.923	5.270	5.270*	9.923
<b>Manoel Viana – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico</b>			
1.503	2.790	0	4.293
<b>Santa Maria – Cultivo Mínimo – GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico</b>			
4.049	2.440	0	6.489

Obs.: \* Nos dados referentes a Cachoeira do Sul, não foram contabilizadas as precipitações, pois, em todas as ocorrências, os quadros estavam cheios de água de irrigação e todo o volume foi extravasado.

#### **4.3. Balanço Hídrico *versus* volume utilizado (Automonitoramento)**

Na tabela 4.3 são apresentados os resultados do balanço hídrico ( $V_{BH}$ ) realizado com estimativas de evapotranspiração e características hidráulicas dos solos, para comparar com os valores de uso da água obtidos com o automonitoramento. Nesse modelo foram considerados volumes de água para: a) saturar o solo; b) formar a lâmina superficial; c) suprir a evapotranspiração e d) alimentar a percolação vertical e lateral (ROSSO, 2007).

As quatorze primeiras colunas da Tabela 4.3 apresentaram os componentes para o cálculo do balanço hídrico segundo descrito na metodologia nas equações 23 a 33. A décima quinta coluna refere-se ao volume do balanço hídrico ( $V_{BH}$ ), o qual

está expresso na equação 38. Já a décima sexta refere-se ao volume utilizado ( $V_{\text{utilizado}}$ ) (Equação 34), monitorado por meio das estruturas hidráulicas. E por fim, a décima sétima apresenta a diferença em módulo entre o  $V_{\text{BH}}$  e o  $V_{\text{utilizado}}$  (automonitoramento) e a décima oitava apresenta o percentual da diferença entre os dois métodos.

As colunas oitava e nona da tabela 4.3 são referentes ao volume para saturar o solo  $V_{\text{sat}}$  (Equação 23). A oitava coluna apresenta valores negativos, pois foi utilizado o mesmo valor de umidade gravimétrica (Equação 24), coletado a 15 cm de profundidade, para todos os horizontes. Em alguns horizontes a umidade volumétrica apresentou-se maior que a porosidade total, ocasionando assim valores negativos. Estes valores não existiriam caso houvesse medidas de umidade gravimétrica em cada horizonte. Diante disso, o solo foi considerado saturado onde os valores deram negativos e posteriormente substituídos por zero (coluna 9).

O percentual do  $V_{\text{BH}}$  em Santa Maria no sistema de cultivo mínimo (GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico) em Cacequi no sistema de plantio direto (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico) e em Cachoeira do Sul, no sistema pré-germinado (GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico) foi de apenas 1,5; 2,1 e 3,5%, respectivamente, maior do que o  $V_{\text{utilizado}}$ . Estes percentuais indicaram que o  $V_{\text{BH}}$  ficou bem próximo ao  $V_{\text{utilizado}}$ , comprovando assim o funcionamento da técnica de automonitoramento.

Na área de Cachoeira do Sul, no plantio direto (PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico) e no plantio convencional (GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico) foi possível perceber o oposto das áreas anteriores, ou seja, o percentual do  $V_{\text{BH}}$  foi menor do que o  $V_{\text{utilizado}}$ . Este percentual foi de 10 e 13,3%, podendo-se considerar valor bem próximo entre os métodos. Diante disso, nestas áreas também houve a validação da técnica de automonitoramento. O percentual de 13,3% foi devido a área não apresentar a camada de impedimento (horizonte B).

Já nas áreas do município de Manoel Viana, com o cultivo mínimo (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico) e no município de Cacequi também com o cultivo mínimo (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico) apresentaram maiores diferenças de percentuais entre os dois métodos. Estes percentuais foram de 47,6 e 62,4% do  $V_{\text{BH}}$  em relação ao  $V_{\text{utilizado}}$ . Estes maiores percentuais, relacionando com as demais áreas estudadas, estão associados à ausência na leitura da lâmina de água por meio do observador.

**Tabela 4.3 - Componentes para o cálculo do  $V_{BH}$ ,  $V_{utilizado}$ , diferença em módulo ( $V_{BH}$  e  $V_{utilizado}$ ) e percentual. Santa Maria, RS, 2010.**

H (1)	Prof. cm (2)	Dif. cm (3)	Ug % (4)	Ds $gcm^{-3}$ (5)	Uv % (6)	Pt % (7)	$V_{sat}$ $m^3/ha$ (8)	$V_{sat}$ $m^3/ha$ (9)	$V_{Lâmina}$ $m^3/ha$ (10)	$V_{sat} + V_{Lâmina}$ $m^3/ha$ (11)	ETc $m^3/ha$ (12)	$P_v$ $m^3/ha$ (13)	$P_L$ $m^3/ha$ (14)	$V_{BH}$ $m^3/ha$ (15)	$V_{utilizado}$ $m^3/ha$ (16)	Dif. em módulo $V_{BH}$ e $V_{utilizado}$ $m^3/ha$ (17)	% (18)
<b>Cacequi – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>																	
A <sub>1</sub>	0 - 39	39	28,1	1,54	43,27	49,26	233,45	233,45									
A <sub>2</sub>	39 - 65	26	28,1	1,73	48,61	41,13	-194,6	0,00	600,00	833,45	6111,01	3432,5	52,31	10429	10207	222,26	97,9%
E	65 - 83	18	28,1	1,81	50,86	40,79	-181,3	0,00									
<b>Cacequi – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>																	
A	0 - 37	37	30,04	1,46	43,86	48,79	182,47	182,47									
E1	37 - 54	17	30,04	1,38	41,46	50,87	160,05	160,05	600,00	1429,01	6664,67	17135,5	113,31	25342	9535	15807,00	37,6%
E2	54 - 78	24	30,04	1,24	37,25	57,52	486,49	486,49									
<b>Cachoeira do Sul – Convencional – GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico</b>																	
Ap	0 - 20	20	22,75	1,78	40,5	39,97	-10,5	0									
C <sub>1</sub>	20 - 40	20	22,75	1,75	39,81	41,32	30,15	30,15									
C <sub>2</sub>	40 - 90	50	22,75	1,51	34,35	56,2	1092,4	1092,38	1000,00	2800,00	6545,35	768,3	42,99	10157	11509	1352,32	113,3%
Cr	90 - 180 <sup>+</sup>	90	22,75	1,59	36,17	43,7	677,48	677,48									
<b>Cachoeira do Sul – Pré-germinado – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico</b>																	
Ap	0 - 23	23	16,76	1,68	28,16	45,15	390,84	390,84									
AB	23 - 55	32	16,76	1,8	30,17	38,3	260,22	260,22	1000,00	1651,07	7696,30	56,3	0,09	9404	9076	327,75	96,5%
<b>Cachoeira do Sul – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico</b>																	
Ap	0 - 35	35	19,27	1,71	32,95	39,87	242,14	242,14									
A	35 - 90	55	19,27	1,46	28,13	49,33	1165,8	1165,77	1000,00	2407,91	6545,35	44,9	23,85	9022	9923	901,00	110,0%
<b>Manoel Viana – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico</b>																	
Ap	0 - 19	19	21,35	1,81	38,64	38,82	3,3535	3,35									
A	19 - 33	14	21,35	1,95	41,63	33,93	-107,8	0	1000,00	1003,35	5886,03	1297,1	2,40	8189	4293	3895,90	52,4%
<b>Santa Maria – Cultivo Mínimo – GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico</b>																	
A <sub>1</sub>	0 - 28	28	26,33	1,51	39,76	48,23	237,21	237,21									
A <sub>2</sub>	28 - 49	21	26,33	1,61	42,39	45,03	55,413	55,41	1000,00	1292,62	5210,99	83,7	0,32	6588	6489	98,62	98,5%

*H* são os horizontes; *Prof* é a profundidade dos horizontes em cm; *Dif.* é a diferença entre horizontes em cm; *Ug* é a umidade gravimétrica do solo em %; *Ds* é a densidade do solo em  $g\ cm^{-3}$ ; *Uv* é a umidade gravimétrica em %; *Pt* é a porosidade total dos solos estudados em %; *V<sub>sat</sub>* é a lâmina de saturação do solo em  $m^3\ ha^{-1}$ ; *V<sub>Lâmina</sub>* é a lâmina superficial do solo em  $m^3\ ha^{-1}$ ; *ETc* é a evapotranspiração da cultura em  $m^3\ ha^{-1}$ ; *P<sub>v</sub>* e *P<sub>L</sub>* é a percolação vertical e lateral em  $m^3\ ha^{-1}$ ; *V<sub>BH</sub>* é o balanço hídrico em  $m^3\ ha^{-1}$ ; *V<sub>utilizado</sub>* é o balanço hídrico desenvolvido para a técnica de automonitoramento em  $m^3\ ha^{-1}$ ; *Diferença em módulo entre V<sub>BH</sub>* e *V<sub>utilizado</sub>* em  $m^3\ ha^{-1}$ ; % é o percentual entre os métodos. **Obs:** Os valores de  $mm\ dia^{-1}$  das variáveis foram transformados em  $m^3\ ha^{-1}$ .

Diante dos percentuais de -1,5; -2,1; -3,5; 10 e 13,3 apresentados anteriormente, entre ambos os métodos, foi possível validar a técnica de automonitoramento, ou seja, de sete áreas, cinco apresentaram resultados muito próximos entre os métodos. Somando-se estas diferenças de percentuais (positivos e negativos), o somatório alcança uma diferença, na média, de 3,2% em relação ao balanço hídrico, o que valida a técnica do automonitoramento.

A metodologia em estudo apresentou confiabilidade nos dados. Ainda, apresentou ser uma alternativa simples, prática e viável tanto técnica quanto economicamente na determinação do volume, a qual poderá ser adquirida tanto pelo pequeno quanto para o grande produtor de arroz irrigado.

A técnica de automonitoramento não exige mão de obra qualificada, e sim responsabilidade no momento das anotações da carga hidráulica e da precipitação, pois deixando de anotar um valor, compromete assim todo o estudo do período irrigado. Essa prática, para plena implementação no sistema de gestão de recursos hídricos deverá passar por ajustes, com o desenvolvimento de um manual para correta implantação das estruturas hidráulicas, com uniformização dos canais de alimentação de água e principalmente treinamento específico para uniformização nas anotações da carga hidráulica e da precipitação.

#### **4.4. Descrição morfológica e granulométrica**

Na Tabela 4.4, são apresentados os resultados da descrição morfológica bem como a composição granulométrica (areia, silte e argila) e classe textural dos solos das sete áreas monitoradas.

No município de Cacequi identificou-se um PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico, devido a presença do horizonte B plânico que é o horizonte diagnóstico dos Planossolos. O B plânico é um horizonte Bt (B textural) especial, pois além de apresentar uma mudança textural abrupta em relação ao A ou E, apresenta cores acinzentadas ou escurecidas, estrutura prismática, colunar ou em blocos e baixa permeabilidade. Este solo apresenta também a saturação da capacidade de troca de cátions (CTC) por bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na) menor que 50% indicando baixa fertilidade química, além da textura areia franca e areia nos horizontes acima do B plânico. Os termos eutróficos e distróficos referem-se a

saturação da CTC por bases, sendo eutróficos quando a saturação for  $\geq 50\%$  e distróficos quando for  $< 50\%$  (Anexo I).

**Tabela 4.4 – Sequência de horizontes, profundidade, transição entre horizontes, raízes, granulometria e classe textural das sete áreas monitoradas no Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2010.**

H	Prof. (cm)	Transição entre horizontes	Raízes	Granulometria (%)			Classe Textural <sup>(1)</sup>
				Areia	Silte	Argila	
<b>Cacequi – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>							
A <sub>1</sub>	0 - 39	Gradual e Plana	Muitas	81	11	8	Areia Franca
A <sub>2</sub>	39 - 65	Clara e Plana	Comuns	84	11	5	Areia Franca
E	65 - 83	Abrupta e Plana	Poucas	89	10	1	Areia
Btg	83 -105 <sup>+</sup>	-	Poucas	62	17	21	Franco Argilo Arenosa
<b>Cacequi – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>							
A	0 - 37	Clara e Irregular	Muitas	70	20	10	Franco Arenosa
E1	37 - 54	Clara e Irregular	Comuns	75	20	5	Areia Franca
E2	54 - 78	Abrupta e Plana	Poucas	75	21	4	Areia Franca
Btg	78 -113 <sup>+</sup>	-	Raras	60	15	25	Arenosa
<b>Cachoeira do Sul – Convencional – GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico</b>							
Ap	0 - 20	Clara e Plana	Poucas	46	34	20	Franca
C <sub>1</sub>	20 - 40	Clara e Irregular	Raras	47	34	19	Franca
C <sub>2</sub>	40 - 90	Gradual e Irregular	Raras	44	35	21	Franca
Cr	90 -180 <sup>+</sup>	-		46	27	27	Franco Argilo Arenosa
<b>Cachoeira do Sul – Pré-germinado – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico</b>							
Ap	0 - 23	Clara e Plana	Poucas	47	36	17	Franca
AB	23 - 55	Gradual Irregular	Raras	43	36	21	Franca
Btg	55 - 72	Clara e Irregular	Raras	32	33	35	Franca Argilosa
C	72 -122 <sup>+</sup>	-	Raras	33	36	31	Franca Argilosa
<b>Cachoeira do Sul – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico</b>							
Ap	0 - 35	Clara e Plana	Poucas	38	41	21	Franca
A	35 - 90	Clara e Irregular	Raras	33	45	22	Franca
Btg	90 -130 <sup>+</sup>	-	Raras	26	41	33	Franca Argilosa
<b>Manoel Viana – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico</b>							
Ap	0 - 19	Clara e Irregular	Muitas	65	22	13	Franco Arenosa
A	19 - 33	Abrupta e Irregular	Comuns a poucas	62	19	19	Franco Arenosa
Btg <sub>1</sub>	33 - 70	Clara e Irregular	Raras	38	12	50	Argila
Btg <sub>2</sub>	70 -115 <sup>+</sup>	-	Raras	46	14	40	Argila Arenosa
<b>Santa Maria – Cultivo Mínimo – GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico</b>							
A <sub>1</sub>	0 - 28	Clara e Plana	Comuns	55	17	28	Franco Argilo Arenosa
A <sub>2</sub>	28 - 49	Clara e Plana	Poucas	56	16	28	Franco Argilo Arenosa
Bg	49 -100 <sup>+</sup>	-	Raras	49	15	36	Argila Arenosa

<sup>(1)</sup> Classificação textural segundo Santos et al. (2005).



Nos municípios de Cachoeira do Sul e Manoel Viana também foram identificados Planossolos, sendo um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico em Cachoeira do Sul e um PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico em Manoel Viana (Tabela 4.4). O termo gleissólico utilizado no quarto nível categórico indica uma semelhança com a classe dos Gleissolos. Os Planossolos ocorrem nas áreas de várzeas dos rios e lagoas em várias regiões do Rio Grande do Sul, especialmente na metade Sul do Estado. São solos tradicionalmente cultivados com arroz irrigado há muitas décadas.

Os Gleissolos Háplicos foram encontrados nos municípios de Cachoeira do Sul e Santa Maria. Em Cachoeira do Sul identificou-se um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Típico e um GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico e em Santa Maria um GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico. Os termos Ta e Tb indicam a atividade de argila, sendo Ta (argila de atividade alta) quando o valor for  $\geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila e Tb (argila de atividade baixa) quando o valor for  $< 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Anexo I). O termo argissólico é utilizado quando o solo apresenta características intermediárias para a classe dos Argissolos. Alítico é um atributo diagnóstico que significa um teor elevado de alumínio extraível ( $\geq 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) associado com atividade de argila  $\geq 20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Anexo I) e o termo típico é utilizado quando o solo representa o conceito central da sua respectiva classe. O termo háptico que aparece no segundo nível categórico tanto nos Planossolos como nos Gleissolos apresenta o mesmo significado de típico, usado no quarto nível categórico (SiBCS, 2006). O termo Gleissolo lembra o processo de gleização (dissolução do ferro) atuante em ambientes hidromórficos. Os Gleissolos ocorrem tipicamente em depressões mal drenadas em todo o Estado. Nas áreas maiores de várzeas de rios e planícies lagunares são solos também aptos para o cultivo de arroz inundado, desde que apresentem horizonte subsuperficial do tipo Bt.

Dentre as características morfológicas observadas nos perfis e determinadas em laboratório, a que mais afeta outras propriedades dos solos é, sem dúvida, a textura (Tabela 4.4). A textura influi na CTC, na retenção de água, na erodibilidade, na porosidade e estrutura, na infiltração e percolação de água e, conseqüentemente, afeta o consumo de água para o cultivo de arroz inundado. Em todos os solos, com exceção do GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico em Cachoeira do Sul, ocorre um gradiente textural acentuado entre os horizontes superficiais (A ou E) e o horizonte B, caracterizando-o como um B textural, que nos Planossolos apresenta

mudança textural abrupta (Tabela 4.4). A presença de um horizonte Bt no perfil de um solo indica não somente um gradiente textural elevado, mas também uma camada de impedimento à percolação de água.

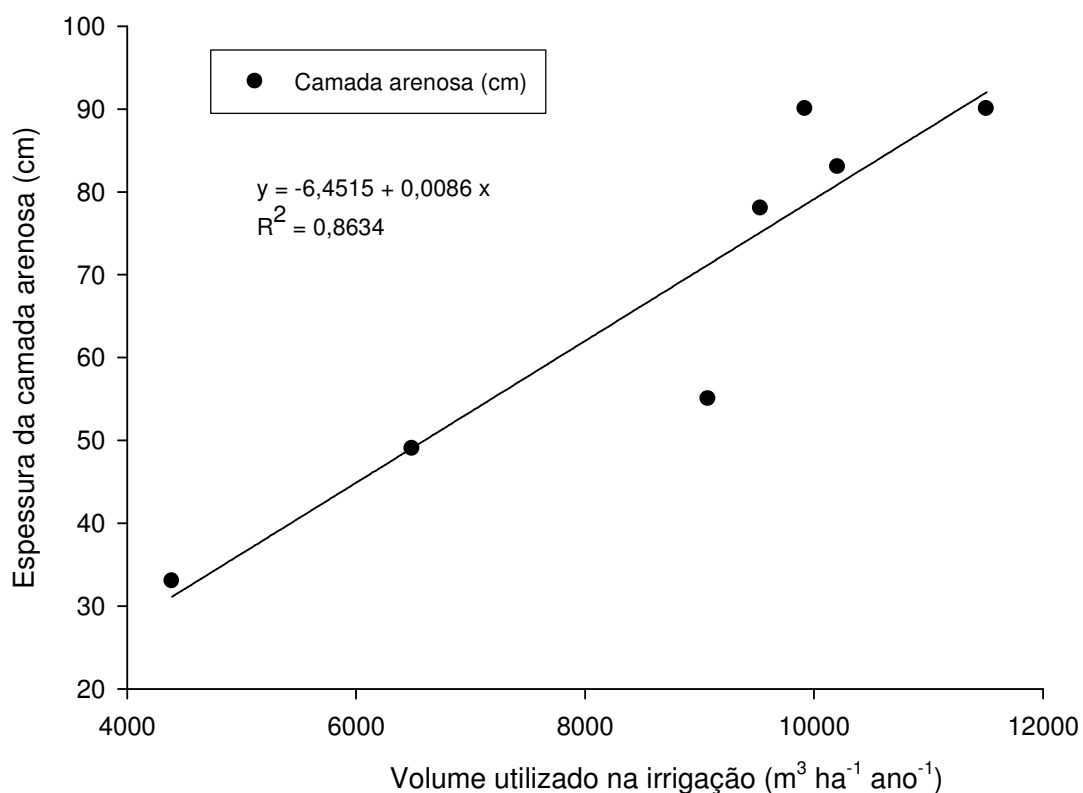
Os dados de raízes são importantes porque auxiliam na interpretação da ocorrência de camadas compactadas ou adensadas. Conforme os dados da tabela 4.4, não foi possível esta percepção devido a maior profundidade das camadas superficiais (horizontes A e E) e ao desenvolvimento superficial das espécies encontradas nas áreas estudadas. No entanto, o perfil referente a área de pré germinado no município de Cachoeira do Sul apresentou evidências de fluxos preferenciais descendentes de água através de bioporos (Anexo 1). As raízes formam canais durante o seu crescimento e à medida que se deterioram, formam os chamados bioporos, que são estáveis devido a pressão exercida lateralmente pela raiz à medida que esta cresce dentro do poro, e pela ação de microrganismos que atuam na decomposição da mucilagem produzida pela raiz.

A transição ente horizontes e camadas no perfil é um dados importante porque permite perceber a existência de camadas de impedimento a infiltração de água. Quanto mais abrupta for a transição de um horizonte para outro, maior serão as limitações de infiltração de água e raízes. Foi possível verificar que os Planossolos apresentaram transição abrupta, caracterizando a mudança textural abrupta, feição morfológica que promove redução significativa da infiltração de água no perfil. Já as áreas com Gleissolos, a transição predominante foi a clara, a qual oferece menor restrição a infiltração que aquela apresentada pelos Planossolos.

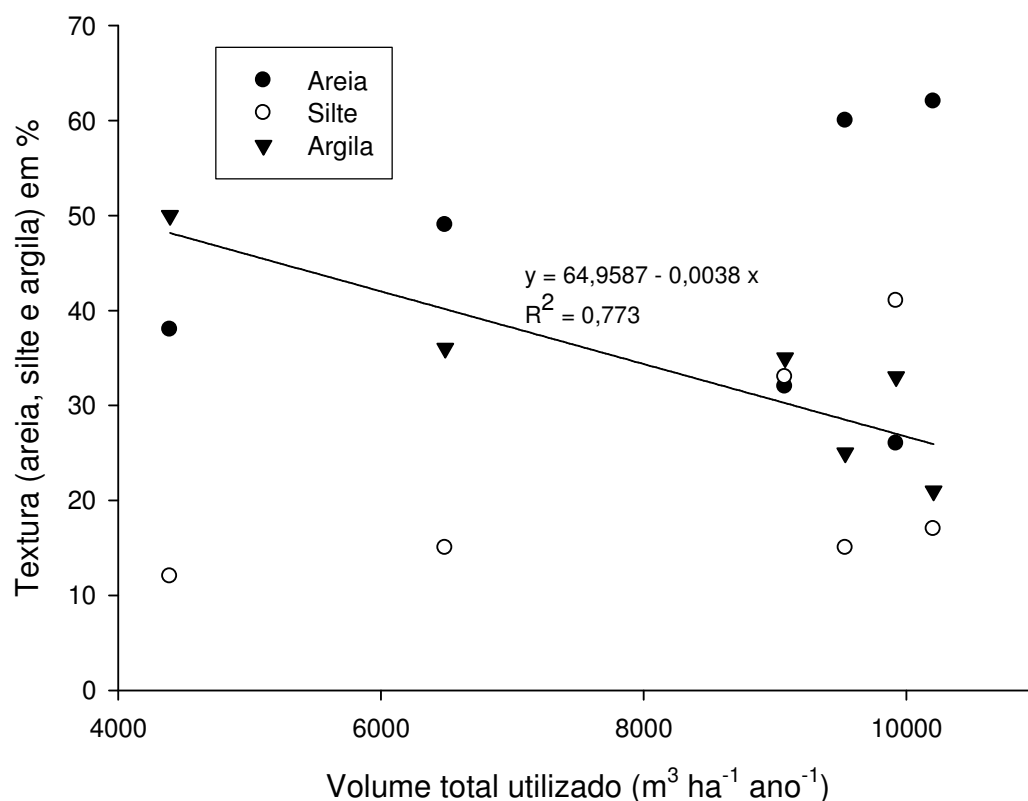
Na Figura 4.1, são apresentados os resultados da espessura da camada arenosa (horizontes A, E, C) de cada perfil dos solos estudados (Tabela 4.4) em função do volume utilizado na irrigação (Tabela 4.2) destes mesmos solos. Diante do resultado da figura 4.1, foi possível comprovar que quanto maior a espessura da camada arenosa, ou seja, mais profunda a camada de impedimento (horizonte Bt), maior é o volume utilizado. Com este resultado, é possível afirmar que a espessura da camada arenosa é diretamente proporcional ao volume de água. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,86, considerado elevado.

Na Figura 4.2, são apresentados os resultados da textura do solo (Tabela 4.4), ou seja, os teores de areia, silte e argila da camada de impedimento de água no solo (horizonte B) em função do volume utilizado (Tabela 4.2) na irrigação das áreas de várzeas monitoradas. Diante deste resultado, foi possível comprovar que

quanto maior a percentagem de argila, menor é o volume utilizado, ou seja, os dados são inversamente proporcionais um ao outro e apresentaram elevada relação no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,773. Em relação ao teor de areia e silte, foi possível comprovar que quanto menor o teor de areia ou silte, menor é o volume de água utilizado, isto é, eles são diretamente proporcionais um ao outro, ao inverso do que demonstrou o teor argila. Neste caso, os coeficientes de determinação dos teores de areia e silte (0,03 e 0,28, respectivamente) foram inferiores ao apresentado pela argila.



**Figura 4.1 – Volume utilizado ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ ) na irrigação, nas sete áreas de várzea monitoradas, em função da espessura da camada arenosa (horizontes A, E e C), em cm de cada perfil. Santa Maria, RS, 2010.**



**Figura 4.2 – Volume utilizado ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ ) na irrigação, nas áreas de várzea monitoradas, em função da textura da camada de impedimento de água (horizonte B), em % de cada perfil. Santa Maria, RS, 2010.**

Na área monitorada com o sistema convencional em Cachoeira do Sul (GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico), não foi encontrada a camada de impedimento, caracterizada pelo horizonte Btg. Conforme mostra a relação na figura 4.2, a ausência da camada de impedimento contribuiu para o maior uso da água nesta área.

Relacionando a Tabela 4.4 (textura) com a Tabela 4.2 (volume utilizado), foi possível confirmar que solos com alta concentração de areia, profundidade considerável e ausência do horizonte Btg necessitaram um volume maior de água no período de irrigação. Alta concentração de areia e profundidade considerável da camada de impedimento foi evidenciada nas áreas do município de Cacequi (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico). Já nas áreas de Cachoeira do Sul, o sistema convencional (GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico) apresentou ausência do horizonte Btg e os sistemas pré-germinado (GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico) e plantio direto (PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico) apresentaram profundidade considerável do horizonte Btg.

As áreas dos municípios de Manoel Viana e Santa Maria com o cultivo mínimo, onde ocorre o PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico Gleissólico e o GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico, respectivamente, obtiveram o menor volume de água, por possuírem horizontes Btg e Bg mais próximos da superfície do solo.

#### **4.5. Características físicas do solo**

##### *4.5.1. Densidade(solo e partícula), porosidade (total, macro e micro)*

Na Tabela 4.5, são apresentados os valores médios de densidade do solo e de partícula, de porosidade (total, micro e macro) e as respectivas relações entre micro/macroporos dos horizontes dos solos estudados.

Os valores de densidade do solo e de partícula nos horizontes A, E, B e C variaram de 1,46 a 1,95 g cm<sup>-3</sup> e de 2,60 a 2,75 g cm<sup>-3</sup>; 1,24 a 1,81 g cm<sup>-3</sup> e 2,75 g cm<sup>-3</sup>; 1,30 a 1,82 g cm<sup>-3</sup> e de 2,69 a 2,75 g cm<sup>-3</sup>; 1,51 a 1,75 g cm<sup>-3</sup> e de 2,75 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente.

As altas densidades do solo apresentaram valores menores de porosidade total. Essa redução na porosidade, quando decorrente de um processo de compactação por forças exteriores, como tráfego de máquinas, uso inadequado ou excessivo de implementos agrícolas (LIMA et al., 2006; LOUZADA et al., 2008), pisoteio de animais, umidade inadequada por ocasião do preparo (PAULETTO et. al., 2004), afeta, inicialmente, os macroporos, estabelecendo uma inadequada relação água/ar no solo. Tal comportamento foi evidenciado para os solos estudados.

**Tabela 4.5 – Sequência de horizontes (H), densidade do solo (Ds) e de partícula (Dp), micro, macro e porosidade total (%) e a respectiva relação entre micro/macro, das sete áreas monitoradas no Estado do RS. Um perfil de cada área. Santa Maria, RS, 2010.**

Horizontes	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidade (%)			Relação Mic./Mac.
			Micro	Macro	Total	
<b>Cacequi – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>						
A <sub>1</sub>	1,54	2,60	43,48	5,79	49,26	7:1
A <sub>2</sub>	1,73	2,64	29,44	11,70	41,13	2:1
E	1,81	2,75	31,78	9,02	40,79	3:1
Btg	1,82	2,69	31,56	9,93	41,49	3:1
<b>Cacequi – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>						
A	1,46	2,72	40,74	8,05	48,79	5:1
E <sub>1</sub>	1,38	2,75	39,03	11,84	50,87	3:1
E <sub>2</sub>	1,24	2,75	44,50	13,02	57,52	3:1
Btg	1,30	2,73	48,99	6,56	55,54	7:1
<b>Cachoeira do Sul – Convencional – GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico</b>						
Ap	1,78	2,69	36,47	3,50	39,97	10:1
C <sub>1</sub>	1,75	2,75	35,94	5,38	41,32	6:1
C <sub>2</sub>	1,51	2,75	46,49	9,71	56,20	4:1
Cr	1,59	2,75	37,92	5,77	43,70	6:1
<b>Cachoeira do Sul – Pré-germinado – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico</b>						
Ap	1,68	2,70	37,11	8,04	45,15	4:1
AB	1,80	2,75	33,23	5,07	38,30	6:1
Btg	1,61	2,75	41,14	5,05	46,22	8:1
C	1,57	2,75	40,44	5,48	45,92	7:1
<b>Cachoeira do Sul – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico</b>						
Ap	1,71	2,69	35,28	4,59	39,87	7:1
A	1,46	2,67	44,25	5,09	49,33	8:1
Btg	1,46	2,75	43,63	4,72	48,35	9:1
<b>Manoel Viana – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico</b>						
Ap	1,81	2,68	30,28	8,54	38,82	3:1
A	1,95	2,66	28,08	5,85	33,93	4:1
Btg <sub>1</sub>	1,45	2,74	46,56	4,98	51,54	9:1
Btg <sub>2</sub>	1,60	2,75	44,34	4,68	49,01	9:1
<b>Santa Maria – Cultivo Mínimo –GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico</b>						
A <sub>1</sub>	1,51	2,73	42,06	6,17	48,23	6:1
A <sub>2</sub>	1,61	2,75	40,20	4,83	45,03	8:1
Bg	1,48	2,70	44,62	5,00	49,62	8:1

No PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico (Cultivo Mínimo - Manoel Viana), foi encontrado o maior valor de densidade do solo, e, conseqüentemente a menor porosidade total. Esta relação, nesta área, está associada ao intenso tráfego de máquinas pesadas durante o preparo do solo (LIMA et al., 2008; LOUZADA et al., 2008) e também ao tipo de argila presente no perfil, do tipo 2:1, condicionando estrutura mais densa. Assim, a densidade do solo é determinada pela forma como

se arranjam suas partículas sólidas, destacando que quando elas se arranjam em íntimo contato, ocorre predominância de sólidos na amostra de solo e a porosidade total é baixa; e se, ao contrário, as partículas se encontram arranjadas em agregados, há a ocorrência de vazios na amostra de solo e a porosidade total é alta (PAULETTO et. al., 2004). Contudo, deve-se ressaltar que alguns tipos de estrutura conferem maior densidade que outras, como é o caso da estrutura prismática e colunar, a qual foi encontrada no perfil da área de Manoel Viana.

Assim, o cultivo de arroz em condições de elevado teor de umidade resulta na quebra dos agregados e destruição dos macroporos e conseqüentemente no aumento da densidade do solo e resistência à penetração, originando efeitos negativos sobre o desenvolvimento das culturas Lima et al. (2006). A desestruturação, além de afetar as relações solo - ar - água, pode trazer limitações ao sistema radicular e alterações na absorção de água e nutrientes.

Nos solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, visto que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado. Além disso, a quantidade de oxigênio na rizosfera pode ser limitante nos processos metabólicos, bem como na redução do volume de solo explorado pelas raízes (BEULTER, 2004).

A densidade do solo é um atributo sensível ao sistema de manejo adotado. O manejo inadequado do solo e o uso indiscriminado de máquinas agrícolas pesadas aumentam a densidade pela compactação dos horizontes superficiais do solo. Sendo assim, a densidade global do solo também é influenciada pelo tipo de manejo empregado, por isso, é um dos principais parâmetros utilizados para avaliação do estado de compactação do solo.

Os sistemas de manejo conservacionistas contribuem para a melhoria da estruturação do solo em virtude do maior conteúdo de matéria orgânica e atividade biológica nas camadas superficiais, o que se reflete em agregados mais estáveis e na continuidade do espaço poroso e menos tortuoso, amortecendo o impacto ocasionado pelo tráfego de máquinas, reduzindo os impactos negativos da compactação dos solos (ARAÚJO, 2004a).

Ainda em relação a densidade do solo, entre o convencional de Cachoeira do Sul (GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico) e plantio direto (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico) de Cacequi, foi obtido maior valor na camada superficial do primeiro em relação ao segundo. Esta relação ocorreu, devido ao alto

tráfego de máquinas para o preparo do solo no sistema convencional, acarretando assim maior compactação e conseqüentemente uma porosidade menor do que no plantio direto de Cacequi. Isto também vai ao encontro do que afirmaram Pauletto et al. (1993), Chang; Lindwall (1990), Eltz et al. (1989), Sidiras et al. (1984), Vieira; Muzilli (1984) e Machado; Brum (1978).

A densidade de partículas dos horizontes estudados não diferiram entre os mesmos. Os resultados ficaram entre 2,6 a 2,75 g cm<sup>-3</sup>. Tais resultados corroboram os encontrados por Carter (1993).

A micro e macroporosidade nos horizontes A, E, B e C variaram de 28,08 a 44,25 e de 3,50 a 11,70%; 31,78 a 44,50 e de 9,02 a 13,02%; 31,56 a 48,99 e de 4,72 a 9,93%; 35,94 a 46,49 e de 5,38 a 9,71%. Os solos hidromórficos, além de apresentarem valores relativamente baixos de porosidade total, manifestam predominância de poros menores, denominados de microporos, condição característica de solos compactados (BRADY; WEIL, 1999). Nos solos estudados, foi verificado uma acentuada predominância da microporosidade (poros com diâmetro inferior a 0,06 mm) sobre a macroporosidade (Tabela 4.5).

#### *4.5.2. Condutividade hidráulica e infiltração*

Na Tabela 4.6, são apresentados os resultados dos valores médios da condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) dos horizontes de cada área estudada. Os valores da  $K_0$  variaram de muito lenta à lenta, segundo a classificação de Cauduro; Dorfman (1986). Esta classificação apresentou diferenças visíveis entre algumas áreas, como no município de Cacequi, nas quais apresentaram textura distinta das demais áreas.

Lima et al. (2008), verificaram que a menor compactação do solo (menor densidade), a maior macroporosidade e porosidade total favoreceram o aumento da  $K_0$ . Este resultado foi evidenciado nas áreas do município de Cacequi (Tabela 4.6), mais precisamente na área com o cultivo mínimo, onde os valores da  $K_0$  variam com os valores de macroporosidade de forma diretamente proporcional como abordaram Ellies et al. (1997) e Ribeiro et al. (2007). Segundo Ribeiro et al. (2007), os maiores valores de  $K_0$  foram encontrados em solos de textura arenosa (macroporosidade), que reflete a importância da distribuição do tamanho dos poros para o fluxo de água.



Assim, o volume de água usado nestas áreas para a irrigação ficou elevado, em torno de 10.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, devido o solo apresentar alta percentagem de areia (Tabela 4.5) e conseqüentemente apresentaram maiores valores de Ko.

**Tabela 4.6 – Sequência de horizontes, condutividade hidráulica saturada (Ko) e classe de infiltração das sete áreas de várzea monitoradas no Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2010.**

Horizonte	Ko (mm h <sup>-1</sup> )	Classe <sup>(1)</sup>
<b>Cacequi – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>		
A1	1,2	Muito lenta
A2	10,4	Muito lenta
E	27,3	Lenta
Btg	20,2	Lenta
<b>Cacequi – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico</b>		
A	5,7	Muito lenta
E1	42,4	Lenta
E2	28,6	Lenta
Btg	34,6	Lenta
<b>Cachoeira do Sul – Convencional – GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico</b>		
Ap	0,5	Muito lenta
C1	0,1	Muito lenta
C2	4,0	Muito lenta
Cr	1,3	Muito lenta
<b>Cachoeira do Sul – Pré-germinado – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico</b>		
Ap	0,0	Muito lenta
AB	0,0	Muito lenta
Btg	0,2	Muito lenta
C	0,3	Muito lenta
<b>Cachoeira do Sul – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico</b>		
Ap	5,2	Muito lenta
A	0,0	Muito lenta
Btg	0,2	Muito lenta
<b>Manoel Viana – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico</b>		
Ap	1,1	Muito lenta
A	0,1	Muito lenta
Btg1	0,1	Muito lenta
Btg2	1,3	Muito lenta
<b>Santa Maria – Cultivo Mínimo – GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico</b>		
A1	0,1	Muito lenta
A2	0,0	Muito lenta
Bg	5,4	Muito lenta

(1) Classificação da K<sub>0</sub> segundo Cauduro; Dorfman (1986).

Outra possível explicação, sobre os resultados encontrados nas áreas de Cacequi, foi relatada por Beven; Germann (1982), macroporos contribuem para o

fluxo de água nos poros com pequeno ou nenhum fluxo, atuando como um reservatório transitório que permite o movimento da água mesmo quando o solo não está totalmente saturado. Além disso, nos macroporos, predomina a força de gravidade em relação à força de capilaridade, relativa ao movimento de água no solo.

Ainda foi possível destacar nas duas áreas de Cacequi a relação entre a condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) e a percolação segundo a equação 28 (Darcy). A condutividade hidráulica saturada é nula ou praticamente nula no sistema pré-germinado em Cachoeira do Sul e cultivo mínimo em Santa Maria (Tabela 4.6). Desta forma, a percolação que é o resultado da multiplicação entre a condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) e o gradiente hidráulico ( $i$ ), resulta em valor nulo ou praticamente nulo.

A macroporosidade é o volume de poros com diâmetro maior que 50  $\mu\text{m}$ , e se correlaciona com a condutividade hidráulica saturada. No entanto, a presença de um “megaporo” a mais numa amostra de solo afetará pouco a macroporosidade, mas muito sua condutividade hidráulica saturada. A densidade de fluxo que passa por um poro é proporcional ao quadrado de seu diâmetro (Lei de Poiseville), e por essas razões é “fácil” obter valores discrepantes (altos) para condutividade hidráulica saturada (devido a um “megaporo”), enquanto a macroporosidade não apresentará a mesma tendência (MESQUITA; MORAES, 2004). Este resultado foi evidenciado no horizonte Btg, na área com o cultivo mínimo em Cacequi, o qual apresentou uma macroporosidade de 6,56%, enquanto que a condutividade hidráulica saturada foi de 34,6  $\text{mm h}^{-1}$ . Os demais resultados não obtiveram grande discrepância.

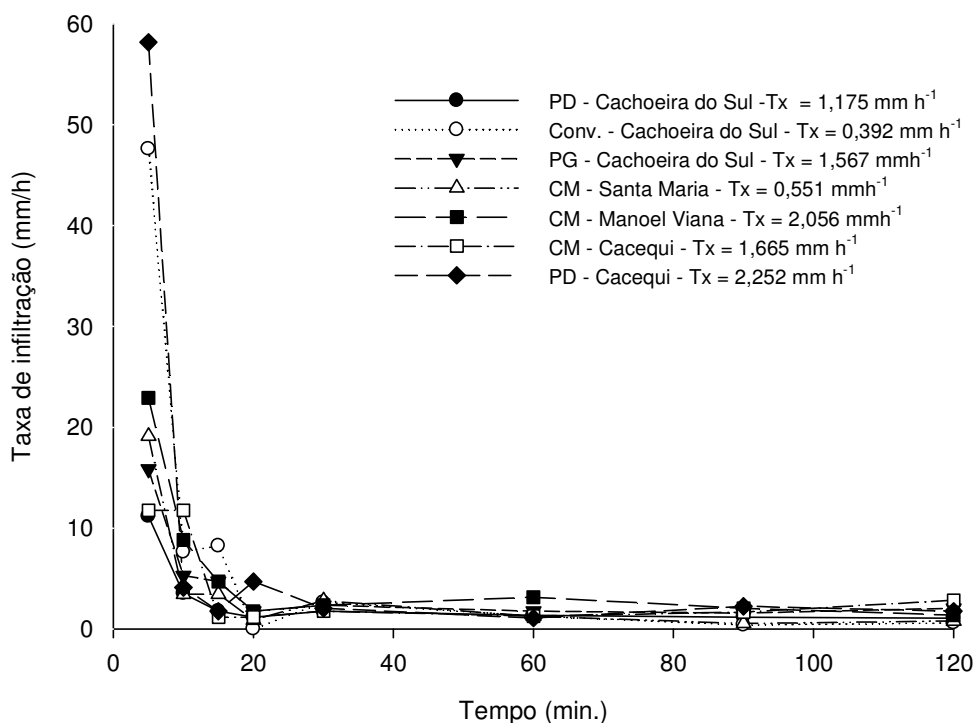
Em relação as áreas dos municípios de Manoel Viana e Santa Maria, conforme foi diminuindo o tamanho dos poros (Tabela 4.5), foi diminuindo a  $K_0$  (Tabela 4.6). Estes resultados estão de acordo com Mesquita, (2001). Uma explicação para a diminuição na condutividade hidráulica saturada dos solos pode ser dada ao provável bloqueio dos poros condutores de água devido à migração e dispersão da argila (RIBEIRO et al., 2007). Diante dos resultados estas áreas apresentaram os menores volumes de água usados durante o período de irrigação na safra 2008/2009.

Nas figuras a seguir, são apresentadas as curvas dos valores médios da taxa de infiltração (Figura 4.3) e da infiltração acumulada (Figura 4.4) das áreas de várzea estudadas.

A Figura 4.3 confirma visualmente o comportamento da taxa de infiltração de água no solo em relação ao tempo, indicando que, no início do teste, a taxa foi alta e, à medida que o tempo aumentou, a taxa de infiltração diminuiu, até atingir um valor quase constante, denominada de taxa básica de infiltração. O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo (PAIXÃO et al., 2004).

As áreas que apresentaram maiores taxas de infiltração, no início do teste, foram: Cacequi no Planossolo Háplico Distrófico arênico com o sistema de plantio direto e em Cachoeira do Sul no Gleissolo Háplico Tb Distrófico argissólico com o sistema convencional. Na primeira área, a taxa de infiltração ocorreu devido à elevada concentração de textura grossa (Tabela 4.4). A explicação segue Silva e Kato (1997), onde solos de textura grossa, ou seja, arenosos, possuem maior quantidade de macroporos que os de textura fina (argilosos) e, conseqüentemente, apresentam maior taxa de infiltração. Ainda segundo Ankeny et al. (1990), a infiltração de água no solo está diretamente relacionada com a estrutura do solo e sua estabilidade, densidade e porosidade. Em relação à segunda área, a elevada taxa de infiltração, no início do teste, ocorreu devido à superfície do solo estar revolvida. Este resultado foi confirmado por Singh et al. (1994), onde a infiltração de água está diretamente relacionada com a cobertura do solo.

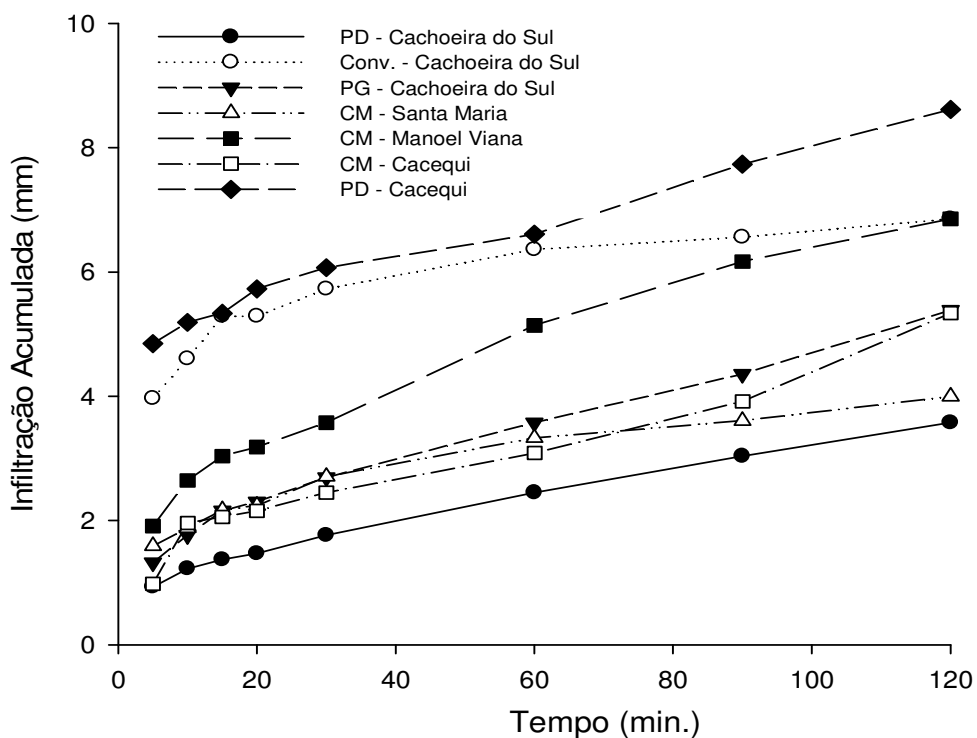
Ainda, foi verificado que quanto maior a densidade do solo (Tabela 4.5), menor foi a taxa de infiltração de água (Figura 4.3). Isto ocorre devido a redução tanto da porosidade total, quanto da macroporosidade do solo, resultados que confirmam evidências já colocadas por Brandão et al. (2006). As demais áreas estudadas demonstraram comportamento semelhante em relação a taxa de infiltração de água no solo.



**Figura 4.3 – Taxa de infiltração de água no solo, nas sete áreas de várzea monitoradas com a cultura do arroz irrigado, média de cinco infiltrômetros por área. Santa Maria, RS, 2010.**

Por se tratar de solos de várzea (solos hidromórficos), a taxa de infiltração variou de 0,392 a 2,252 mm h<sup>-1</sup>. O tempo aproximado, onde os valores ficaram próximos uns dos outros, foi de 90 minutos. O solo que apresentou maior taxa de infiltração foi o plantio direto em Cacequi, no qual aos 90 minutos infiltrou 2,252 mm h<sup>-1</sup>. O oposto foi registrado no convencional em Cachoeira do Sul que infiltrou 0,392 mm h<sup>-1</sup>. Estes registros estão ligados ao comportamento do solo no seu interior, ou seja, o agrupamento das partículas no interior do solo e também relacionado com o tempo do teste, em laboratório, da condutividade hidráulica saturada, pois a área que apresentou o maior volume usado na irrigação na safra 2008/2009 apresentou menor taxa de infiltração de 0,392 mm h<sup>-1</sup>.

O inverso do comportamento da taxa de infiltração pode ser visto com a infiltração acumulada de água no solo na figura 4.4. Diante da figura, foi possível comprovar que a infiltração acumulada apresentou pequena variação entre as sete áreas monitoradas. Esta pequena variação está relacionada devido às áreas apresentarem hidromorfismo, ou seja, solos de várzea, os quais apresentam, frequentemente, baixa infiltração de água no perfil. Os resultados mencionados anteriormente são confirmados por Pauletto et al. (2004).



**Figura 4.4 – Infiltração acumulada de água no solo, nas sete áreas de várzea monitoradas com a cultura do arroz irrigado, média de cinco infiltrômetros por área. Santa Maria, RS, 2010.**

Tanto a condutividade hidráulica saturada quanto a taxa de infiltração de água no solo apresentaram baixo valor em áreas que apresentaram maior volume utilizado (Automonitoramento). Estes resultados podem estar ligados ao comportamento das partículas no interior e na superfície do solo, como também com as forças capilares e gravitacionais (PINHEIRO et al., 2009).

## 5. CONCLUSÕES

1. A quantificação do volume utilizado em lavouras orizícolas, por meio de métodos simplificados de medição de vazão, em diferentes regiões no sul do Rio Grande do Sul, comparada ao balanço hídrico, mostrou-se adequada para uso em grande escala para aferição dos volumes outorgados, como subsídio à gestão de recursos hídricos.

2. Das sete áreas monitoradas, cinco apresentaram percentuais próximos entre os dois métodos, comprovando assim o funcionamento da técnica de automonitoramento.

3. Os dados obtidos neste trabalho indicam que a quantificação do volume utilizado, em lavouras orizícolas, depende mais da classe de solo e muito pouco do sistema de cultivo. Um aumento do teor de argila na camada arenosa (horizontes A, E, C), diminui o volume de água necessária para a irrigação.

4. Dentre as sete áreas de várzea monitoradas, apenas uma área não apresentou o horizonte B, ou seja, a camada de impedimento, ocasionando assim maior volume total utilizado.

5. Houve uma relação linear entre o volume de água usado e a espessura da camada arenosa (horizontes A, E, C).

6. Os dados de densidade do solo, de porosidade total, de condutividade hidráulica saturada e de infiltração não tiveram comportamento semelhante em todas as áreas monitoradas, dificultando assim seus usos como indicadores do volume de irrigação.

## **6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

A fim de que o Estado do Rio Grande do Sul agilize o trabalho de fiscalização do uso dos recursos hídricos, nas áreas de arroz irrigado, recomenda-se aos produtores que: possuam assistência de técnicos agrícolas ou agrônomos e façam os estudos em relação ao solo, obtendo assim a espessura da camada arenosa (A, E e C). Então, ao Estado, caberá apenas treinar uma equipe técnica para a instalação de métodos simplificados de medição de vazão, diminuindo assim, o custo em relação à fiscalização do uso dos recursos hídricos em áreas de arroz irrigado.

Recomenda-se para um resultado mais preciso do balanço hídrico calcular a umidade gravimétrica em todos os horizontes do solo de cada área a ser monitorada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas. Usos Múltiplos. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/UsosMultiplos.aspx>>. Acesso em 20 out. 2009.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 319p. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56.

ANKENY, M. D.; KASPAR, T.C.; HORTON, R. Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.837-840, 1990.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p.337-345, 2004a.

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente**: uma introdução. Santa Maria: Pallotti, 2006. 100p.

BERTOL, I.; GOMES, K.E.; DENARDIN, R.B.N. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, n.5, p.779-786, 1998.

BERTOL, I.; SHICK, J.; MASSARIOL, J.M. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.91-95, 2000.

BEULTER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, jun. 2004.

BEVEN, K.; GERMANN, P. Macropores and water flow in soils. **Water Resources Research**, v.18, n.5, p.1311-1325, 1982.

BORGES, E.; LIBARDI, P. L. Propriedades hidráulicas de um solo não-saturado utilizando-se o permeâmetro a disco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.525-529, jul./set. 2000.



BRADY. N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 12. ed. New Jersey: p. Holl, 1999. 881p.

BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife. 1973. 431p. (Boletim técnico, 30).

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.19, n.1, p.121-126, jan./abr. 1995.

CARLESSO. R.; ZIMMERMANN, F. L. **Água no solo**: parâmetros para o dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria: UFSM/ Departamento de Engenharia Rural, 2000.88p.

CARTER, M. R. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society Soil Science. 1993. 823 p.

CARVALHO, R., GOEDERT, W. J. e ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, nov. 2004.

CARVALHO, T. M de. Técnicas de medição de vazão por meio convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.1, n.1, p.73-85, mai./ago. 2008.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem. Porto Alegre, PRONI, IPH-UFRGS. 1986. 216p.

CHANG, G.; LINDWALL, C. W. Comparison of the effect of long term tillage and crop rotation on physical properties of a soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.32, p. 53-55, 1990.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 49, p. 8-13, 2001.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso da água. **Revista Bahia Agrícola**, Bahia, v.7, n.1, p. 57-60, set. 2005.

COSTA, F. M.; BACELLAR, L. de A. P.; SILVA, E. F. Vertedores portáteis em microbacias de drenagem. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.60, n.2, p.213-218, abr./jun. 2007.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Otimização e simulação comparativa de cenários de outorga. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.10, n.3, p.75-91, 2005.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. da. Disponibilidade hídrica para outorga (i): avaliação por seção hidrológica de referência. **Revista de Gestão da Água da América Latina**, Porto Alegre, v.4, n.2, p.51-64, 2007.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. da. Disponibilidade hídrica para outorga em bacias com elevado uso consuntivo (ii): avaliação integrada por bacia. **Revista de Gestão da Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 4, n.2, p. 65-76, 2007.

CRUZ, R. P. da ; ROSSO, A. F. ; LOPES, S. I. G. ; CARMONA, P. S. ; LOPES, M. C. B. ; AVOZANI, O. ; KEMPF, D. ; FUNCK, G.D. ; FAGUNDES, C. A. A. ; NEVES, G. IRGA 424: nova opção de cultivar com adaptação e produtividade para a Zona Sul do RS. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO E XXVII REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2007. p. 99-101.

De DATTA, S. K. et al. **Manejo del agua y necesidades de riego del arroz**. Quezon City, Universidade of the Philippines, 1975. p.121-127.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. **Madison: Soil Science Society of America**, 1994. p. 3-21. (SSSA Special publication, 35).

ELLIES, A.; GREZ, R.; RAMIRES, C. G. La conductividad hidraulica en fase saturada como herramienta para el diagnostico de la estructura del solo. **Agro Sur**, v.25, n.1, p.51-56, 1997.

ELTZ, F. L. F., PEIXOTO, R. T. G., JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. **Revista**

**Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p. 249-267, 1989.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos. – 2. ed., 1997.

\_\_\_\_\_. **Sistemas de cultivo**. 2003. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/arroz/index.htm#cultivar>>. Acesso em: 20 out. 2009.

\_\_\_\_\_. Clima Temperado. Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. **Sistemas de Produção**, 3. Versão Eletrônica. Nov./2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 8 mar. 2009.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.

\_\_\_\_\_. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. Embrapa Clima Temperado, 2009. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/arroz/>>. Acesso em: 20 jun. 2009.

FABIAN, A. J.; OTOONI FILHO, T. B. Projeto de uma câmara de infiltração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 24., 1993, Goiana, Goiás. **Resumo...**Goiana: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1993. p.107-108.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS. **Rice is life**. Italy, 2004a. Disponível em: <<http://www.fao.org/rice2004>>. Acesso em 20 nov. 2009.

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008. 116f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FLORES, C.A.; ALBA, J.M.F. **Aptidão dos solos para o cultivo do arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul**. 2009. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_3/aptidao/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/aptidao/index.htm)>. Acesso em: Acesso em: 16 jun. de 2010.

GOLDFARB, M. C; SILVA, T. C da; AZEVEDO, C. A. V de. Escoamento uniforme em canais circulares lisos. Parte I: adaptação e validação do método de Kazemipour. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2, p.175-179, mai./dez. 2004.

GONÇALVES, F. F. **Estudos de métodos empregado HPLC-DAD e LC-MS/MS para determinação de resíduos de herbicidas em água e solo do cultivo de arroz irrigado**. 2007.148f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo de processamento. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.664-668, mar./abr. 2006.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. Academic Press, Orlando, 1980.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE. Estatística da Produção Agrícola. Maio/2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2009.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. Porto Alegre, RS. **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre. 2001.

\_\_\_\_\_. **Áreas sistematizadas**. 2004. Disponível em: Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/Areas\\_sistematizadas.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/Areas_sistematizadas.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2009.

\_\_\_\_\_. Arroz Irrigado no RS: Área, produção e rendimento. 2008. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em 30 jun. 2010

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KING, H. W.; WISLER, C. O.; WOODBURN, J. O. **Hidráulica**. 1. ed. Rio de Janeiro: COPYRIGHT, 1957. 352p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p.945-953, 2002.

LANZANOVA, M.E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

LENCASTRE, A. **Manual de Hidráulica geral**. São Paulo: Edgard Blucher, 1972. 411p.

LIMA, A. C. R.; HOOGMOED, W. & BRUSSARD, L. Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set. **J. Environ. Qual.**, v.37, p.623-630, 2008.

LIMA, C. L. R. de; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S. et al. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.1, p.199-205, 2003.

LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; HARTWIG, M. P.; PASSIANOTO, C. C. Compactação de um planossolo em função de sistemas de manejo. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v. 12, n. 2, p. 179-182, 2006.

LOPES, M. C. B.; ROSSO, A. F. de; LOPES, S. I. G. et al. IRGA 422CL a cultivar desenvolvida para o Sistema de Produção CLEARFIELD Arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, p.33- 38, 2004.

LORENSI, R. P. **Automonitoramento dos recursos hídricos em lavouras orizícolas**. 2008. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

LORENSI, R. P.; CRUZ, J. C.; LUZ, G. O.; ELTZ, F. L. F. Verificação do uso real dos recursos hídricos em lavouras orizícolas por meio da implantação do automonitoramento In: CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL, 10., e CONGRESO DEL MERCOSUR, 2., 2009, Rosário – Santa Fé. **Resumos...**Rosário: CADIR, 2009. p.1424-1431.

LOUZADA, J. A.; CAICEDO, N.; HELFER, F. Condições de drenagem relacionadas ao trânsito de máquinas em solo de várzea (RS - Brasil). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, p. 98-106, 2008.

MACEDO, V. R. M.; CORRÊA, N. I.; LOPES, M. S. et al. Rendimento de grãos características físicas e consumo de água num solo sob sistema de cultivo de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. 1997, Balneário Camburiú. **Anais...** Itajaí: Epagri, 1997. p184-186.

MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E.; BOHNEN, H. et al. Perdas de solo e nutrientes na água de drenagem durante o preparo do solo para o sistema de cultivo pré-germinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2., e REUNIÃO

DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 2001. p.247-249.

MACHADO, J. A.; BRUM, A. C. R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 81-84, 1978.

MACHADO, S. L. O. et al. Determinação do consumo de água em cinco sistemas de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis, SC. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2002. p.336-339.

MACHADO, S. L. O.; MARCHEZAN, E.; VILLA, S. C. C.; CAMARGO, E. R. Lavoura arrozeira e Recursos Hídricos. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.27, n.27, p.97-106, jul./dez. 2003.

MACHADO, S. L. O.; MARCHEZAN, E.; RIGHES, A. A.; CARLESSO, R.; VILLA, S. C. C.; CAMARGO, E. R. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p. 65-71, jan./fev. 2006.

MAIA NETO, R. F. Água para o desenvolvimento sustentável. **A água em revista**, Belo Horizonte, n.9, p.21-32, 1997.

MARCHEZAN, E. ; VILLA, S. C. C.; MACHADO, S. L de O. Consumo de água e desempenho de cultivares de arroz irrigado em diferentes sistemas de cultivo. **Informe Técnico**. n.3. 2005.

MARCOLIN, E.; CORRÊA, N.; LOPES, M. S. Determinação do consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1., e REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.263-265.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. Consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABID, 2001. p.59-63.

MESQUITA, M. G. B. F **Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo**. 2001. 110f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, mai./jun. 2004.

MICHELON, C.J. **Qualidade física de solos irrigados do Rio Grande do Sul e do Brasil Central**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo UFSM, Santa Maria, 2005.

MOLOZZI, J. **Avaliação quantitativa e qualitativa das águas utilizadas na cultura do arroz irrigado em áreas produtoras da bacia do Itajaí /SC**. 2006. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2006.

MONTENEGRO, J. **Características físicas e fator de erodibilidade de solos de depressão central do Rio Grande do Sul**. 1976. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1976.

MORAES, M. F.; OLIVEIRA, G. C.; KLIEMANN, H. J.; SEVERIANO, E. C.; SARMENTO, P. H. L.; NASCIMENTO, M. O. Densidade e porosidade do solo como diagnóstico do estado de degradação de solos sob pastagens na região dos Cerrados. In: V Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas, Belo Horizonte. **Anais do V Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas: água e biodiversidade**. Belo Horizonte – MG : SOBRADE, 2006. p. 256-258.

MOTA, F. S.; ALVES, E. G. P.; BECKER, C. T. Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.43, n.392, p.3-6, set./out.1990.

MUSGRAVE, G. **How much of the rain enters in the soils**. Department of Agriculture, Washington, USA: The yearbook of agriculture. p.151-159, 1955.

PAIXÃO, F. J. R.; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V. SILVA, J. M. COSTA, T. L. FEITOSA, R. M. Estimativa da Infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.5, n.1 p.1-11, 2004.

PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; FRANZ, A. F. H.; SOUZA, R. O. Manejo de solo e água em arroz irrigado. In: PESKE, S.; NEDEL, J.; BARROS, A. (Ed.). **Produção de sementes de arroz**. Pelotas, v. 1, p. 64 -144. 1993.

PAULETTO, E. A.; GOMES, A. da S.; PINTO, L. F. S. In: Arroz irrigado no sul do Brasil. 21. ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológica, 2004. 119-142p.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, set./dez. 2000.

PEDRON, F. A. **Mineralogia, Morfologia e Classificação de Saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul**. 2007. 160f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEDROTTI, A.; DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo: como evitá-la. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 50-52, dez. 1996.

PEÑA, Y.A.; GOMES, A da S.; SOUSA, R.O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.517-523, 1996.

PIMENTA, C. F. **Curso de hidráulica geral**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981. 2v. 482p.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.4, n.2, p.188-199, 2009.

PLANETA ARROZ. O grão universal. **Planeta Arroz**, Cachoeira do Sul, ed. especial. v.1, mai. 2000. Disponível em: <<http://www.planetaarroz.com.br>>. Acesso em: 06 out. 2009.

PORTO, R. M. de. **Hidráulica Básica**. 3. ed. São Carlos: EESC-USP, 2004. 540 p.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L. N.; ANTUNES, V. L. **Infiltração de água no solo**. Caderno didático, n. 25. 1997a. 26p.

RAUBER, A. L. **Ordenamento Territorial: A cultura do Arroz Irrigado no Município de Rio Pardo, RS, Brasil**. 2004. 140f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2004.



REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R. de; DALMOLIN, R. S. D.; REINERT, D. J.; GONÇALVES, C.; NUNES, M. Agregação de um planossolo sistematizado há um ano e sob cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.837-844, mai-jun, 2006.

RESENDE, M., CURI, NILTON., REZENDE, S. B., CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: UFV, 2002, 338p.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n. 4, p.1167-1175, 2007.

RIGHES, A. A. Água: sustentabilidade, uso e disponibilidade para a irrigação. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.11, n.21, p.91-102, 2000.

ROSSO, J. C. **Avaliação do consumo de água em lavouras de arroz irrigado no sistema pré-germinado nas condições climáticas do sul**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, 64 f. 2007.

RUBIN, R.B. et al., Resistência do solo influenciada pelo tráfego e sistemas de cultivos. In: II Reunião Sul-Brasileira de Ciência do solo. 4 a 6 de Novembro de 1998, **Anais...**, Santa Maria – RS.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372p.

SANTOS, A. B.; SILVA, S. C.; ZIMMERMANN, F. J. P. Efeito do manejo da irrigação na temperatura da água e no comportamento do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3., e REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003. Balneário Camburiú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 181-183.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 100p.

SCAPINI, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ZANETTE, A.; SILVA, V.R. Medição da densidade e porosidades do solo pelo método do cilindro e torrão parafinado em sistemas de preparo do solo e pastejo animal. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, SBCS, 1998. CDROM.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREJDA, J. J. Soil resilienc: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, p. 224-234, 1999.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p. 265-268, 1984.

SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.2, p.213-220, 1997.

SILVA, C. A. S. da; PARFITT, J. M. B. **Irrigação por inundação intermitente para culturas em rotação ao arroz em áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. 2005. Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular técnica. n° 46. dezembro, 2005.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. **Infiltração e armazenamento de água no solo** In: Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade - UFRGS, ABRH, 2001. p.335-372.

SINGH, B.; CHANASYR, D; MCGILL, W.; NYBORG, M. Residue and tillage management effects on soil properties of a Typic Cryoboroll under continuous baley. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 32, p.117-133, 1994.

SIQUEIRA, O. J. F. & DENARDIN, J. E. Equipamento para medir a taxa de infiltração de água no solo utilizando anéis concêntricos em um sistema com nível de água constante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.9, p.73-75, 1985.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí: Sosbai, 2003. 126p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS: ASCAR, 2008. 222p.

TSUSUI, H. Manejo de água para a produção de arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 23, n. 268, p. 24-27, 1972.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Desenvolvimento de ações para implantação da Outorga na bacia do rio Santa Maria, RS**. Relatório Técnico Final. Convênio UFSM/SEMA/RS, Santa Maria, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Apontamentos de irrigação**. 2. ed. da UFRGS, 1997. 186p. Porto Alegre.

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 873-882, jul. 1984.

VOLTOLINI, J.; ALTHOFF, D. A.; BACK, A. J. Água de irrigação para a cultura do arroz irrigado no sistema pré-germinado. In: EPAGRI. A cultura do arroz irrigado pré-germinado. Florianópolis, 2002. p.101-112.

WEBER, L.; MARCHEZAN, E.; CARLESSO, R.; MARZARI, V. Cultivares de arroz irrigado e nutrientes na água de drenagem em diferentes sistemas de cultivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 27-33, 2003.

WOPEREIS, M. C. S. et al. Water use efficiency of flooded rice fields. I-Validation of the soil-water balance model SAWAH. **Agricultural Water Management**, Columbus, v.26, p.277-289, 1994.

**ANEXO**

## Anexo I - Descrição morfológica dos perfis, análise granulométrica e análise química das áreas monitoradas no Estado do RS.

### PERFIL 1 - Plantio direto – Cacequi/RS

#### a) Descrição Geral

DATA: 02/07/2009.

CLASSIFICAÇÃO: PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Vacacaí.

LOCALIZAÇÃO: 0755349/6704610

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em trincheira com declive de 0 a 3% com cobertura vegetal.

LITOLOGIA: Sedimentos Recentes.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Mal drenado.

USO ATUAL: Arroz.

CLIMA: Cfa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício Pedron, Flávio Luiz Foletto Eltz.

#### b) Descrição Morfológica

- A<sub>1</sub> 0-39 cm; preto; (10YR 2,5/1 úmido); areia franca; blocos angulares e subangulares, pequenos a médios, e fraca; friável, não plástico e não pegajoso; transição gradual e plana; poros até 2 mm e muitos poros biológicos até 1 cm.
- A<sub>2</sub> 39-65 cm; preto; (10YR 2,5/1 úmido); areia franca; blocos angulares e subangulares, pequenos a médios, e fraca; friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e plana; poros até 2 mm e muitos poros biológicos até 1 cm.
- E 65-83 cm; bruno-oliváceo escuro; (2,5Y 3/3 úmido); areia; blocos angulares e subangulares, pequenos a médios, e fraca; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição abrupta e plana; muitos poros até 2 mm; concreções duras, irregulares e esbranquiçadas até 1 cm, (5-10%).
- Btg 83-105<sup>+</sup> cm; bruno-acinzentado muito escuro; (10YR 3/2 úmido); franco argilo arenosa; blocos angulares, pequenos a grandes, e moderado; friável a firme, muito pegajosa e muito plástica; poros pequenos e comuns.

RAÍZES: Muitas no A<sub>1</sub>, comuns no A<sub>2</sub>, e poucas no E e no E<sub>b</sub>.

#### Análise granulométrica

Horizontes	Profundidade (cm)	Composição granulométrica (%) (dispersão com NaOH)		
		Areia	Silte	Argila
A <sub>1</sub>	0-39	81	11	8
A <sub>2</sub>	39-65	84	11	5
E	65-105	89	10	1
Btg	105-130 <sup>+</sup>	62	17	21

## Análise química

Horz	pH H <sub>2</sub> O 1:1	Complexo sortivo – cmol/dm <sup>3</sup>							Saturação (%)		Índice SMS
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC efet.	K <sup>+</sup>	CTC pH7	Al	Bases	
A <sub>1</sub>	4,5	0,8	0,2	1,3	3,5	3,1	0,04	4,5	74	18	6,2
A <sub>2</sub>	4,7	0,5	0,1	1,2	3,9	1,8	0,01	4,5	67	14	6,1
E	4,7	0,3	0,1	0,3	1,4	0,7	0,01	1,8	43	23	7,0
Btg	4,8	3,5	0,3	2,4	6,9	6,3	0,05	10,8	38	36	5,6

## PERFIL 2 - Cultivo mínimo – Cacequi/RS

## a) Descrição Geral

DATA: 02/07/2009.

CLASSIFICAÇÃO: PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Vacacaí.

LOCALIZAÇÃO: 0754885/6706245.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte na área com pouca cobertura vegetal com declive de 0 a 3%.

LITOLOGIA: Sedimentos Aluviais Recentes.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Mal drenado.

USO ATUAL: Arroz.

CLIMA: Cfa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício Pedron, Flávio Luiz Foletto Eltz.

## b) Descrição Morfológica

- A 0-37 cm; preto; (10YR 2,5/1 úmido); franco arenosa; blocos angulares e subangulares, pequenos e grandes, e fraca; friável, não pegajosa e não plástica; transição clara e irregular; poros muitos até 1 mm.
- E<sub>1</sub> 37-54 cm; preto; (10YR 2,5/1 úmido); areia franca; blocos subangulares, pequenos a médios, e fraca; muito friável, não pegajosa e não plástica; transição clara e irregular; poros muitos até 2 mm.
- E<sub>2</sub> 54 -78 cm; bruno a bruno-escuro; (10YR 4/3 úmido); areia franca; blocos subangulares, pequenos a médios, e fraca muito friável, não pegajosa e não plástica; transição abrupta e plana; poros muitos até 2 mm.
- Btg 78-113<sup>+</sup> cm; bruno-acinzentado muito escuro; (10YR 3/2 úmido); areia; blocos angulares, pequenos a grandes, e moderado; friável a firme, muito pegajosa e muito plástica; poros até 1 mm menos que no A

RAÍZES: Muitas no A, comuns no E<sub>1</sub>, poucas no E<sub>2</sub> e raras no Btg.

## Análise granulométrica

Horizontes	Profundidade (cm)	Composição granulometria (%) (dispersão com NaOH)		
		Areia	Silte	Argila
A	0-37	70	20	10
E <sub>1</sub>	37-54	75	20	5
E <sub>2</sub>	54-78	75	21	4
Btg	78-113 <sup>+</sup>	60	15	25

## Análise química

Horz	pH H <sub>2</sub> O 1:1	Complexo sortivo – cmol/dm <sup>3</sup>							Saturação (%)		Índice SMS
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC efet.	K <sup>+</sup>	CTC pH7	Al	Bases	
A	4,5	0,5	0,2	2,3	3,5	3,1	0,08	4,3	74	18	6,2
E <sub>1</sub>	4,8	0,3	0,1	1,3	2,2	1,7	0,04	2,6	76	17	6,6
E <sub>2</sub>	4,6	0,3	0,1	1,0	1,6	1,4	0,03	2,0	71	22	6,9
Btg	4,7	1,6	0,3	3,4	4,9	5,4	0,05	6,9	63	28	5,9

## PERFIL 3 - Plantio convencional - Cachoeira do Sul/RS

## a) Descrição Geral

DATA: 31/08/09

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: Cachoeira do Sul, RS

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em trincheira com declive de 0 a 2% sem cobertura vegetal.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochosa

RELEVO LOCAL: Plano (área sistematizada)

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado a ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Mal drenado

USO ATUAL: Arroz

CLIMA: Cfa (classificação de Köppen)

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício Pedron, Jessé Fink.

## b) Descrição Morfológica

- Ap 0-20 cm, bruno-oliváceo escuro (10YR 3/3), franco; blocos angulares e subangulares, pequenos a médios, moderada e laminar; ligeiramente pegajoso e plástico, firme a muito firme; transição clara e plana.
- C<sub>1</sub> 20-40 cm, cinzento escuro (10YR 4/1), franco; blocos angulares, pequenos a grandes, e moderada; ligeiramente pegajoso e plástico, firme a muito firme; transição clara e irregular; concreções raras, irregulares e ovaladas, avermelhadas, 5%, de 1 a 3 mm de diâmetro.
- C<sub>2</sub> 40-90 cm, vermelho claro (2,5YR 5/2); franco; blocos angulares e subangulares, pequenos a médios, moderada a fraca; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e irregular; concreções comuns, irregulares, avermelhadas de até 7 cm, 10%.
- Cr 90-180<sup>+</sup> cm, vermelho claro (2,5Y 4/4); franco argilo arenosa; blocos angulares; estrutura maciça; friável, ligeiramente pegajoso e plástico.

RAÍZES: Poucas no Ap, e raras no C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>.

## Análise granulométrica

Horizontes	Profundidade (cm)	Composição granulometria (%) (dispersão com NaOH)		
		Areia	Silte	Argila
Ap	0 -20	46	34	20
C <sub>1</sub>	20 -40	47	34	19
C <sub>2</sub>	40 -90	44	35	21
Cr	90 -180 <sup>+</sup>	46	27	27

## Análise química

Horz.	pH H <sub>2</sub> O 1:1	Complexo sortivo – cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>							Saturação (%)		Índice SMS
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC efet.	K <sup>+</sup>	CTC pH7	Al	Bases	
Ap	5,3	1,9	0,7	0,5	2,0	3,2	0,06	4,7	16	57	6,7
C <sub>1</sub>	5,3	0,7	0,2	1,5	7,7	2,5	0,05	8,7	60	11	5,5
C <sub>2</sub>	5,6	0,9	0,7	0,0	2,8	1,6	0,04	4,4	0	37	6,4
Cr	5,8	1,5	1,7	0,0	4,4	3,3	0,07	7,7	0	42	6,0

## PERFIL 4 - Pré-geminado – Cachoeira do Sul/RS

## a) Descrição Geral

DATA: 31/08/09

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico

LOCALIZAÇÃO: Cachoeira do Sul, RS

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em trincheira com declive de 0 a 2% sem cobertura vegetal.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano (área sistematizada)

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado a ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Mal drenado

USO ATUAL: Arroz.

CLIMA: Cfa (classificação de Köppen)

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício Pedron, Jessé Fink.

## b) Descrição Morfológica

- Ap 0-23 cm, bruno-oliváceo escuro (10YR 3/3); franco; blocos angulares, pequenos a médios, e moderada; friável a firme, ligeiramente pegajoso e plástico; transição clara e plana.
- AB 23-55 cm, marron (7,5YR 4/4); franco; blocos angulares e subangulares, pequenos a médios, moderada a fraca; friável, pegajoso e plástico; transição irregular e gradual; concreções irregulares, poucas a comuns, escuras, 3%, até 2 mm.
- Btg 55-72 cm, vermelho escuro (2,5YR 3/6); franca argilosa; blocos angulares e subangulares, pequenos a médios, e fraca; friável, pegajoso e plástico; transição irregular e clara; concreções irregulares, comuns, escuras, 5%, de até 5 mm.
- C 72-122<sup>+</sup> cm, vermelho (2,5YR 4/6); franca argilosa; blocos angulares, pequenos a grandes, e moderado; firme, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; concreções irregulares, avermelhadas, 8%, de até 5 mm.

RAÍZES: Poucas no A, e raras nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES: horizonte Ap compactado. Horizonte C com presença de canais reduzidos onde parece haver fluxo preferencial descendente de água.

## Análise granulométrica

Horizontes	Profundidade (cm)	Composição granulométrica (%) (dispersão com NaOH)		
		Areia	Silte	Argila
Ap	0-23	47	36	17
AB	23-55	43	36	21
Btg	55-72	32	33	35
C	72-122 <sup>+</sup>	33	36	31



## Análise química

Horz.	pH H <sub>2</sub> O 1:1	Complexo sortivo – cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>							Saturação (%)		Índice SMS
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC efet.	K <sup>+</sup>	CTC pH7	Al	Bases	
Ap	5,1	1,4	0,5	1,1	4,9	3,1	0,14	6,9	36	30	5,9
AB	4,7	0,8	0,2	2,5	3,9	3,6	0,05	5,0	69	21	6,1
Btg	4,8	0,8	0,3	3,9	13,7	5,1	0,07	14,9	76	8	5,0
C	4,8	0,8	0,3	3,7	15,4	4,9	0,08	16,6	76	7	4,9

## PERFIL 5 - Plantio Direto – Cachoeira do Sul/RS

## a) Descrição Geral

DATA: 31/08/09.

CLASSIFICAÇÃO: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico

LOCALIZAÇÃO: Cachoeira do Sul, RS

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em trincheira com declive de 0 a 2% com cobertura vegetal.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochosa

RELEVO LOCAL: Plano (sistemizado)

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado a ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Mal drenado

USO ATUAL: Arroz

CLIMA: Cfa (classificação de Köppen)

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício Pedron, Jessé Fink.

## b) Descrição Morfológica

Ap 0 -35 cm, cinzento escuro (10YR 4/1); franco; blocos angulares, pequenos a médios, moderada e laminar; firme a friável, ligeiramente pegajoso e plástico; transição plana e clara.

A 35-95 cm, cinzento escuro (10YR 4/1); franco; blocos angulares a subangulares, muito pequenos a médios, e fraca; friável, pegajoso e plástico e muito plástico; transição irregular e clara.

Btg 95-130<sup>+</sup> cm, cinzento escuro (10YR 4/1); franco argilosa; blocos angulares, pequenos a médios, moderada, friável, pegajoso e muito plástico.

RAÍZES: Poucas no Ap e raras no A e no Btg.

OBSERVAÇÕES: Poucas raízes devido ao manejo da lavoura.

## Análise granulométrica

Horizontes	Profundidade (cm)	Composição granulométrica (%) (dispersão com NaOH)		
		Areia	Silte	Argila
Ap	0 -35	38	41	21
A	35 - 95	33	45	22
Btg	95 - 130 <sup>+</sup>	26	41	33

## Análise química

Horz	pH H <sub>2</sub> O 1:1	Complexo sortivo – cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>							Saturação (%)		Índice SMS
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC efet.	K <sup>+</sup>	CTC pH7	Al	Bases	
Ap	5,1	2,8	1,7	0,3	2,8	4,9	0,09	7,4	6	62	6,4
A	4,8	1,6	0,6	2,9	17,3	5,2	0,05	19,6	56	12	4,8
Btg	5,0	2,2	1,9	2,5	3,1	6,7	0,06	7,3	37	57	6,3

**PERFIL 6 - Cultivo mínimo - Manoel Viana/RS****a) Descrição Geral**

DATA: 02/07/2009.

CLASSIFICAÇÃO: PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Vacacaí.

LOCALIZAÇÃO: 0653940/6719167

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em trincheira com declive de 0 a 2% sem cobertura vegetal.

LITOLOGIA: Material sedimentar inconsolidado recente.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano (sistemizado).

RELEVO REGIONAL: Plano

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Mal drenado.

USO ATUAL: Arroz.

CLIMA: Cfa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício Pedron, Flávio Luiz Foletto Eltz.

**b) Descrição Morfológica**

Ap 0-19 cm; preto; (10YR 2,5/1 úmido); franco arenosa; blocos angulares a subangulares, pequenos a grandes, e moderada; friável, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico a plástico; transição clara e irregular; muitos poros, muito pequenos.

A 19-33 cm; bruno-acinzentado muito escuro; (10YR 3/2 úmido); franco arenosa; blocos angulares a subangulares, pequenos a grandes, e moderada; firme, plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e irregular; muitos poros, muito pequenos.

Btg<sub>1</sub> 33-70 cm; preto; (10YR 2,5/1 úmido); argila; blocos angulares, pequenos a grandes, moderada e forte, estrutura colunar pequena a média; firme, muito plástico e muito pegajoso; transição clara e irregular; poros muito pequenos a pequenos e porosidade comum.

Btg<sub>2</sub> 70-115<sup>+</sup> cm; cinzento muito escuro; (10YR 3/1 úmido); argila arenosa; blocos angulares, pequenos a grandes, estrutura moderada a forte; muito firme, muito plástico e muito pegajoso; poros muito pequenos a pequenos e porosidade comum; concreções poucas, irregulares, duras, escuras a avermelhadas de até 1 cm.

RAÍZES: Muitas no Ap, comuns a poucas no A e raras no Btg<sub>1</sub> e Btg<sub>2</sub>.

OBSERVAÇÕES: Presença de pequenas superfícies de fricção nos horizontes Btg de até 10 cm.

### Análise granulométrica

Horizontes	Profundidade (cm)	Composição granulométrica (%) (dispersão com NaOH)		
		Areia	Silte	Argila
Ap	0-19	65	22	13
A	19-33	62	19	19
Btg <sub>1</sub>	33-70	38	12	50
Btg <sub>2</sub>	70-115 <sup>+</sup>	46	14	40

### Análise química

Horz	pH H <sub>2</sub> O 1:1	Complexo sortivo – cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>							Saturação (%)		Índice SMS
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC efet.	K <sup>+</sup>	CTC pH7	Al	Bases	
Ap	4,9	2,4	0,9	0,5	2,5	3,8	0,04	5,8	13	58	6,5
A	5,1	2,5	1,2	1,6	6,2	5,4	0,05	10,0	30	38	5,7
Btg <sub>1</sub>	4,9	3,7	2,0	6,3	15,4	12,1	0,10	21,2	52	27	4,9
Btg <sub>2</sub>	4,8	4,4	2,8	4,5	12,3	11,8	0,10	19,6	38	37	5,1

## PERFIL 7 - Cultivo mínimo – Santa Maria/RS

### a) Descrição Geral

DATA: 02/07/2009.

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico

LOCALIZAÇÃO: Arroio do Só, 5° distrito de Santa Maria, RS.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em trincheira com declive de 0 a 2% sem cobertura vegetal.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos aluviais recentes

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Plano

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Mal drenado

USO ATUAL: Lavoura de arroz

CLIMA: Cfa

DESCRITO E COLETADO POR: Jessé Rodrigo Fink.

### b) Descrição Morfológica

A<sub>1</sub> 0 -28 cm; bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2); franco argilo arenosa; blocos angulares e laminar, médios e moderada; muito firme, pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e plana.

A<sub>2</sub> 28-49 cm; bruno a bruno escuro (10 YR 4/3); franco argilo arenosa; blocos angulares e subangulares, pequenos a médios, fraca a moderada; firme, pegajoso e plástico; transição abrupta e plana.

Bg 49-100<sup>+</sup> cm; cinzento escuro (10 YR 4/1); argila arenosa; blocos angulares, prismáticos, moderada; firme, pegajoso e plástico;

RAÍZES: Comuns em A<sub>1</sub>, poucas em E<sub>1</sub>, e raras em Btg.

## Análise granulométrica

Horizontes	Profundidade (cm)	Composição granulometria (%) (dispersão com NaOH)		
		Areia	Silte	Argila
A <sub>1</sub>	0 -28	55	17	28
A <sub>2</sub>	28 – 49	56	16	28
Btg	49 – 100 <sup>+</sup>	49	15	36

## Análise química

Horz.	pH H <sub>2</sub> O 1:1	Complexo sortivo – cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>							Saturação (%)		Índice SMS
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC efet.	K <sup>+</sup>	CTC pH7	Al	Bases	
A <sub>1</sub>	4,7	2,8	1,3	2,7	8,7	6,9	0,12	12,9	39	33	5,4
A <sub>2</sub>	5,1	2,3	0,7	4,6	10,9	7,7	0,07	14,0	60	22	5,2
Btg	4,8	3,1	1,4	6,7	10,9	11,3	0,11	15,5	59	30	5,2

**Anexo II: Equações para o cálculo da evapotranspiração de referência segundo o Boletim da FAO 56 (ALLEN et al., 1998).**

A declividade da curva de pressão de vapor na saturação foi obtida derivando a equação de Tetens, cujo resultado em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ , e calculada como segue:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (1)$$

A constante psicrométrica ( $\gamma$ ) representa o balanço entre o calor sensível ganho pela passagem do fluxo de ar no termômetro de bulbo úmido e calor sensível transformando em calor latente, foi calculada como:

$$\gamma = 0,665 * 10^{-3} P \quad (2)$$

Onde, P é a pressão atmosférica (kPa).

A pressão de saturação de vapor com base na temperatura média ( $e_0$ ),

$$e^0 = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \quad (3)$$

A pressão de saturação de vapor com base na média de pressão de vapor para a temperatura máxima  $e_0(T_{\max})$  e mínima  $e_0(T_{\min})$ .

$$e^0(t_{\max}) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_{\max}}{T_{\max} + 237,3}\right) \quad (4)$$

$$e^0(t_{\min}) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_{\min}}{T_{\min} + 237,3}\right) \quad (5)$$

Onde,  $t_{\max}$  é a temperatura máxima diária ( $^\circ\text{C}$ );  $t_{\min}$  é a temperatura mínima diária ( $^\circ\text{C}$ ).

$$e_s = \frac{e^0(T_{\max}) + e^0(T_{\min})}{2} \quad (6)$$

Pressão parcial de vapor (kPa):

$$e_a = \frac{\left[ e^0(T_{\min}) \cdot \frac{UR_{\max}}{100} \right] + \left[ e^0(T_{\max}) \cdot \frac{UR_{\min}}{100} \right]}{2} \quad (7)$$

Onde, UR é a umidade relativa do ar média diária (%); UR<sub>máx</sub> é a umidade relativa máxima (%); e UR<sub>mín</sub> é a umidade relativa mínima (%).

Distância relativa entre o sol e a terra;

$$D_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (8)$$

Onde, D<sub>r</sub> é a distância relativa entre o solo e a terra; J é os dias juliano; π é 3,141592654.

Declinação solar

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (9)$$

Determinação do ângulo horário correspondente ao nascer do Sol ( $\omega_s$ )

$$\omega_s = \arctan(-\tan(\varphi)\tan(\delta)) \quad (10)$$

Radiação solar no topo da atmosfera (Ra)

$$Ra = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} \cdot D_r \left[ \omega_s \cdot \text{sen}(\varphi)\text{sen}(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\text{sen}(\omega_s) \right] \quad (11)$$

Onde,  $G_{sc}$  é a constante solar ( $0.0820 \text{ MJ} \cdot \text{dia}^{-1}$ );  $\omega_s$  é o ângulo horário correspondente ao nascer ao nascer do solo;  $\delta$  é a declinação do sol; e  $\varphi$  é a latitude (em radianos)

Radiação solar ao nível do mar ( $R_{so}$ )

$$R_{so} = (0,75 + 0,00002z)R_a \quad (12)$$

Onde,  $Z$  é a altitude do local.

Ondas de radiação curtas ( $R_{ns}$ )

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (13)$$

Onde,  $\alpha$  é o coeficiente de reflexão da cultura (0,23).

Radiação de onda longa ( $R_{nl}$ )

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{\max} K^4 + T_{\min} K^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left[ 1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right] \quad (14)$$

Onde,  $T_{\max} K^4$  é a temperatura máxima diária mais 273,16 para a transformação em temperatura em graus Kelvin;  $T_{\min} K^4$  é a temperatura mínima diária mais 273,16 para a transformação em temperatura em graus Kelvin;  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ} \cdot \text{K}^{-4} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ ).

Saldo de Radiação

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (15)$$

Fluxo de calor do solo

$$G = 0 \quad (16)$$

## **APÊNDICE**



**Apêndice I - Planilha de campo do observador, equação empírica da estrutura hidráulica e monitoramento do fluxo de entrada (irrigação + precipitação) e fluxo de saída à vazão de drenagem (perdas).**

**Planilha de campo do Observador + Equação empírica + Monitoramento de fluxo de entrada**

Sistema de cultivo - Plantio Direto - Cacequi/RS

Área: 23,5 hectares

Sistema de condução da água: Gravidade

Forma de Abastecimento: Barragem

Anotador: João

Vertedor retangular = 0.7 m de largura

$$Q = 1,83(l - 0,2h)h^{3/2}$$

Data	Hora	Nível (cm)	Observações	Nível Médio (cm)	Total Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
23/11/08	07:00	10	Início Irrigação.	0,09	12	0,034	1.455,737	
23/11/08	19:00	8		0,045	12	0,012	521,473	
24/11/08	07:00	1		0,045	12	0,012	521,473	
24/11/08	19:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
25/11/08	07:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
25/11/08	19:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
26/11/08	07:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
26/11/08	19:00	8	Chuva de 11 mm.	0,115	12	0,048	2.087,230	2585
27/11/08	07:00	15		0,125	12	0,055	2.358,325	
27/11/08	19:00	10		0,095	12	0,036	1.576,403	
28/11/08	07:00	9		0,09	12	0,034	1.455,737	
28/11/08	19:00	9		0,09	12	0,034	1.455,737	
29/11/08	07:00	9	Chuva de 50 mm.	0,12	12	0,051	2.221,536	11750
29/11/08	19:00	15		0,115	12	0,048	2.087,230	
30/11/08	07:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
30/11/08	19:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
1/12/08	07:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
1/12/08	19:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
2/12/08	07:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
2/12/08	19:00	8		0,105	12	0,042	1.826,369	
3/12/08	07:00	13		0,09	12	0,034	1.455,737	
3/12/08	19:00	5		0,04	12	0,010	437,654	
4/12/08	07:00	3		0,03	12	0,007	285,086	
4/12/08	19:00	3		0,035	12	0,008	358,732	
5/12/08	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
5/12/08	19:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
6/12/08	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
6/12/08	19:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
7/12/08	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
7/12/08	19:00	4		0,07	12	0,023	1.004,398	
8/12/08	07:00	10	5 mm	0,095	12	0,036	1.576,403	1175
8/12/08	19:00	9		0,09	12	0,034	1.455,737	

Data	Hora	Nível (cm)	Observações	Nível Médio (cm)	Total Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
9/12/08	07:00	9		0,11	12	0,045	1.955,481	
9/12/08	19:00	13	5 mm	0,12	12	0,051	2.221,536	1175
10/12/08	07:00	11	12 mm	0,11	12	0,045	1.955,481	2820
11/12/08	07:00	9		0,085	12	0,031	1.338,086	
11/12/08	19:00	8		0,075	12	0,026	1.112,288	
12/12/08	07:00	7		0,06	12	0,019	799,374	
12/12/08	19:00	5		0,05	12	0,014	609,872	
13/12/08	07:00	5		0,05	12	0,014	609,872	
13/12/08	19:00	5		0,065	12	0,021	900,040	
14/12/08	07:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
14/12/08	19:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
15/12/08	07:00	8		0,07	12	0,023	1.004,398	
15/12/08	19:00	6		0,05	12	0,014	609,872	
16/12/08	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
16/12/08	19:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
17/12/08	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
17/12/08	19:00	4		0,06	12	0,019	799,374	
18/12/08	07:00	8		0,075	12	0,026	1.112,288	
18/12/08	19:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
19/12/08	07:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
19/12/08	19:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
20/12/08	07:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
20/12/08	19:00	7		0,06	12	0,019	799,374	
21/12/08	07:00	5		0,05	12	0,014	609,872	
21/12/08	19:00	5		0,07	12	0,023	1.004,398	
22/12/08	07:00	9		0,09	12	0,034	1.455,737	
22/12/08	19:00	9		0,09	12	0,034	1.455,737	
23/12/08	07:00	9		0,09	12	0,034	1.455,737	
23/12/08	19:00	9		0,09	12	0,034	1.455,737	
24/12/08	07:00	9		0,09	12	0,034	1.455,737	
24/12/08	19:00	9		0,085	12	0,031	1.338,086	
25/12/08	07:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
25/12/08	19:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
26/12/08	07:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
26/12/08	19:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
27/12/08	07:00	8		0,075	12	0,026	1.112,288	
27/12/08	19:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
28/12/08	07:00	7	5 mm	0,07	12	0,023	1.004,398	1175
28/12/08	19:00	7		0,08	12	0,028	1.223,562	
29/12/08	07:00	9	5 mm	0,09	12	0,034	1.455,737	1175
29/12/08	19:00	9		0,09	12	0,034	1.455,737	
30/12/08	07:00	9		0,08	12	0,028	1.223,562	
30/12/08	19:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
31/12/08	07:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
31/12/08	19:00	7		0,055	12	0,016	702,584	
1/1/09	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
1/1/09	19:00	4		0,045	12	0,012	521,473	
2/1/09	07:00	5		0,05	12	0,014	609,872	
2/1/09	19:00	5	5 mm	0,065	12	0,021	900,040	1175
3/1/09	07:00	8	15 mm	0,075	12	0,026	1.112,288	3525
3/1/09	19:00	7		0,055	12	0,016	702,584	
4/1/09	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
4/1/09	19:00	4		0,04	12	0,010	437,654	

Data	Hora	Nível (cm)	Observações	Nível Médio (cm)	Total Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
5/1/09	07:00	4		0,05	12	0,014	609,872	
5/1/09	19:00	6		0,075	12	0,026	1.112,288	
6/1/09	07:00	9		0,085	12	0,031	1.338,086	
6/1/09	19:00	8		0,08	12	0,028	1.223,562	
7/1/09	07:00	8		0,06	12	0,019	799,374	
7/1/09	19:00	4		0,12	12	0,051	2.221,536	
8/1/09	07:00	20	30 mm	0,115	12	0,048	2.087,230	7050
8/1/09	19:00	3		0,07	12	0,023	1.004,398	
9/1/09	07:00	11		0,095	12	0,036	1.576,403	
9/1/09	19:00	8		0,07	12	0,023	1.004,398	
10/1/09	07:00	6		0,06	12	0,019	799,374	
10/1/09	19:00	6		0,06	12	0,019	799,374	
11/1/09	07:00	6		0,06	12	0,019	799,374	
11/1/09	19:00	6		0,05	12	0,014	609,872	
12/1/09	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
12/1/09	19:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
13/1/09	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
13/1/09	19:00	4		0,055	12	0,016	702,584	
14/1/09	07:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
14/1/09	19:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
15/1/09	07:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
15/1/09	19:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
16/1/09	07:00	7		0,055	12	0,016	702,584	
16/1/09	19:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
17/1/09	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
17/1/09	19:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
18/1/09	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
18/1/09	19:00	4		0,045	12	0,012	521,473	
19/1/09	07:00	5		0,05	12	0,014	609,872	
19/1/09	19:00	5		0,06	12	0,019	799,374	
20/1/09	07:00	7		0,07	12	0,023	1.004,398	
20/1/09	19:00	7		0,055	12	0,016	702,584	
21/1/09	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
21/1/09	19:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
22/1/09	07:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
22/1/09	19:00	4		0,04	12	0,010	437,654	
23/1/09	07:00	4	Larg. 0,7cm p/ 1,00 m	0,04	12	0,015	627,388	
23/1/09	19:00	4		0,055	12	0,023	1.008,498	
24/1/09	07:00	7	20 mm	0,07	12	0,033	1.443,640	4700
24/1/09	19:00	7		0,07	12	0,033	1.443,640	
25/1/09	07:00	7		0,07	12	0,033	1.443,640	
25/1/09	19:00	7		0,07	12	0,033	1.443,640	
26/1/09	07:00	7		0,07	12	0,033	1.443,640	
26/1/09	19:00	7		0,075	12	0,037	1.599,422	
27/1/09	07:00	8		0,085	12	0,045	1.925,825	
27/1/09	19:00	9		0,09	12	0,049	2.096,091	
28/1/09	07:00	9	22 mm	0,09	12	0,049	2.096,091	5170
28/1/09	19:00	9		0,09	12	0,049	2.096,091	
29/1/09	07:00	9		0,09	12	0,049	2.096,091	
29/1/09	19:00	9		0,09	12	0,049	2.096,091	
30/1/09	07:00	9		0,09	12	0,049	2.096,091	
30/1/09	19:00	9		0,085	12	0,045	1.925,825	
31/1/09	07:00	8		0,085	12	0,045	1.925,825	

Data	Hora	Nível (cm)	Observações	Nível Médio (cm)	Total Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)	
31/1/09	19:00	9		0,07	12	0,033	1.443,640		
1/2/09	07:00	5		0,05	12	0,020	875,034		
1/2/09	19:00	5		0,05	12	0,020	875,034		
2/2/09	07:00	5		0,05	12	0,020	875,034		
2/2/09	19:00	5		0,055	12	0,023	1.008,498		
3/2/09	07:00	6	5 mm	0,06	12	0,027	1.147,939	1175	
3/2/09	19:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
4/2/09	07:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
4/2/09	19:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
5/2/09	07:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
5/2/09	19:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
6/2/09	07:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
6/2/09	19:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
7/2/09	07:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
7/2/09	19:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
8/2/09	07:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
8/2/09	19:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
9/2/09	07:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
9/2/09	19:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
10/2/09	07:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
10/2/09	19:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
11/2/09	07:00	6		0,08	12	0,041	1.760,212		
11/2/09	19:00	10	38 mm	0,08	12	0,041	1.760,212	8930	
12/2/09	07:00	6		0,06	12	0,027	1.147,939		
12/2/09	19:00	6		0,055	12	0,023	1.008,498		
13/2/09	07:00	5		0,05	12	0,020	875,034		
13/2/09	19:00	5		0,05	12	0,020	875,034		
14/2/09	07:00	5		0,05	12	0,020	875,034		
14/2/09	19:00	5		0,05	12	0,020	875,034		
15/2/09	07:00	5		0,05	12	0,020	875,034		
							186.285,509	53580,00	m³
							<b>7.927</b>	<b>2.280</b>	<b>m³/ha</b>

---

**Planilha de campo do Observador + Equação empírica + Monitoramento de fluxo de entrada**

Sistema de cultivo - Cultivo mínimo - Cacequi/RS

Área: 30,1 hectares

Sistema de condução da água: Gravidade

Forma de Abastecimento: Barragem

Anotador: João

Vertedor retangular de Alvenaria = 0,8 m de largura

$$Q = 1,83(l - 0,2h)h^{3/2}$$

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Nível Médio (m)	Total Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
16/11/08	13:00	0,02	Início irrigação	0,025	18	0,006	372,652	
17/11/08	07:00	0,03		0,035	12	0,010	410,497	
17/11/08	19:00	0,04		0,045	12	0,014	596,939	
18/11/08	07:00	0,05		0,055	12	0,019	804,555	
18/11/08	19:00	0,06		0,065	12	0,024	1.031,050	
19/11/08	07:00	0,07		0,095	12	0,042	1.807,887	
19/11/08	19:00	0,12		0,125	12	0,063	2.707,706	
20/11/08	07:00	0,13		0,13	12	0,066	2.868,077	
20/11/08	19:00	0,13		0,13	12	0,066	2.868,077	
21/11/08	07:00	0,13		0,125	12	0,063	2.707,706	
21/11/08	19:00	0,12		0,11	12	0,052	2.243,900	
22/11/08	07:00	0,1		0,1	12	0,045	1.949,977	
22/11/08	19:00	0,1		0,1	12	0,045	1.949,977	
23/11/08	07:00	0,1		0,1	12	0,045	1.949,977	
23/11/08	19:00	0,1		0,11	12	0,052	2.243,900	
24/11/08	07:00	0,12		0,12	12	0,059	2.550,166	
24/11/08	19:00	0,12		0,12	12	0,059	2.550,166	
25/11/08	07:00	0,12		0,12	12	0,059	2.550,166	
25/11/08	19:00	0,12		0,11	12	0,052	2.243,900	
26/11/08	07:00	0,1		0,11	12	0,052	2.243,900	
26/11/08	19:00	0,12	Precipitação 5 mm	0,165	12	0,094	4.064,023	1505
27/11/08	07:00	0,21		0,21	12	0,133	5.766,775	
27/11/08	19:00	0,21		0,225	12	0,147	6.370,237	
28/11/08	07:00	0,24		0,24	12	0,162	6.989,877	
28/11/08	19:00	0,24		0,24	12	0,162	6.989,877	
29/11/08	07:00	0,24	Precipitação 38 mm	0,24	12	0,162	6.989,877	11438
29/11/08	19:00	0,24		0,19	12	0,115	4.989,077	
30/11/08	07:00	0,14		0,14	12	0,074	3.197,011	
30/11/08	19:00	0,14		0,14	12	0,074	3.197,011	
1/12/08	07:00	0,14		0,125	12	0,063	2.707,706	
1/12/08	19:00	0,11		0,11	12	0,052	2.243,900	
2/12/08	07:00	0,11		0,115	12	0,055	2.395,536	
2/12/08	19:00	0,12		0,115	12	0,055	2.395,536	
3/12/08	07:00	0,11		0,105	12	0,049	2.095,348	
3/12/08	19:00	0,1		0,1	12	0,045	1.949,977	
4/12/08	07:00	0,1		0,095	12	0,042	1.807,887	
4/12/08	19:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
5/12/08	19:00	0,09		0,085	12	0,036	1.533,999	

---

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Nível Médio (m)	Total Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
6/12/08	07:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
6/12/08	19:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
7/12/08	07:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
7/12/08	19:00	0,08		0,105	12	0,049	2.095,348	
8/12/08	07:00	0,13	Precipitação 5mm	0,13	12	0,066	2.868,077	1505
8/12/08	19:00	0,13		0,115	12	0,055	2.395,536	
9/12/08	07:00	0,1	Precipitação 5mm	0,1	12	0,045	1.949,977	1505
9/12/08	19:00	0,1		0,105	12	0,049	2.095,348	
10/12/08	07:00	0,11	Precipitação 15mm	0,11	12	0,052	2.243,900	4515
10/12/08	19:00	0,11		0,1	12	0,045	1.949,977	
11/12/08	07:00	0,09		0,085	12	0,036	1.533,999	
11/12/08	19:00	0,08		0,075	12	0,030	1.274,666	
12/12/08	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
12/12/08	19:00	0,07		0,085	12	0,036	1.533,999	
13/12/08	07:00	0,1		0,1	12	0,045	1.949,977	
13/12/08	19:00	0,1		0,105	12	0,049	2.095,348	
14/12/08	07:00	0,11		0,11	12	0,052	2.243,900	
14/12/08	19:00	0,11		0,115	12	0,055	2.395,536	
15/12/08	07:00	0,12		0,115	12	0,055	2.395,536	
15/12/08	19:00	0,11		0,105	12	0,049	2.095,348	
16/12/08	07:00	0,1		0,09	12	0,039	1.669,188	
16/12/08	19:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
17/12/08	07:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
17/12/08	19:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
18/12/08	07:00	0,08		0,085	12	0,036	1.533,999	
18/12/08	19:00	0,09		0,095	12	0,042	1.807,887	
19/12/08	07:00	0,1		0,1	12	0,045	1.949,977	
19/12/08	19:00	0,1		0,095	12	0,042	1.807,887	
20/12/08	07:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
20/12/08	19:00	0,09		0,085	12	0,036	1.533,999	
21/12/08	07:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
21/12/08	19:00	0,08		0,085	12	0,036	1.533,999	
22/12/08	07:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
22/12/08	19:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
23/12/08	07:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
23/12/08	19:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
24/12/08	07:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
24/12/08	19:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
25/12/08	07:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
25/12/08	19:00	0,09		0,095	12	0,042	1.807,887	
26/12/08	07:00	0,1		0,095	12	0,042	1.807,887	
26/12/08	19:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
27/12/08	07:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
27/12/08	19:00	0,09		0,085	12	0,036	1.533,999	
28/12/08	07:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
28/12/08	19:00	0,08	Precipitação 5 mm	0,09	12	0,039	1.669,188	1505
29/12/08	07:00	0,1		0,1	12	0,045	1.949,977	3010
29/12/08	19:00	0,1	Precipitação 10 mm	0,1	12	0,045	1.949,977	
30/12/08	07:00	0,1		0,1	12	0,045	1.949,977	
30/12/08	19:00	0,1		0,07	12	0,027	1.150,812	
31/12/08	07:00	0,04		0,04	12	0,012	500,899	
31/12/08	19:00	0,04		0,06	12	0,021	915,562	
1/1/09	07:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Nível Médio (m)	Total Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
2/1/09	07:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
2/1/09	19:00	0,08	Precipitação 5 mm	0,075	12	0,030	1.274,666	1505
3/1/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
3/1/09	19:00	0,07	Precipitação 16 mm	0,07	12	0,027	1.150,812	4816
4/1/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
4/1/09	19:00	0,07		0,06	12	0,021	915,562	
5/1/09	07:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
5/1/09	19:00	0,05		0,07	12	0,027	1.150,812	
6/1/09	07:00	0,09		0,085	12	0,036	1.533,999	
6/1/09	19:00	0,08		0,075	12	0,030	1.274,666	
7/1/09	07:00	0,07		0,075	12	0,030	1.274,666	
7/1/09	19:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
8/1/09	07:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
8/1/09	19:00	0,08	Precipitação 15 mm	0,09	12	0,039	1.669,188	4515
9/1/09	07:00	0,1		0,1	12	0,045	1.949,977	
9/1/09	19:00	0,1		0,095	12	0,042	1.807,887	
10/1/09	07:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
10/1/09	19:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
11/1/09	07:00	0,09		0,09	12	0,039	1.669,188	
11/1/09	19:00	0,09		0,085	12	0,036	1.533,999	
12/1/09	07:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
12/1/09	19:00	0,08		0,08	12	0,032	1.402,445	
13/1/09	07:00	0,08		0,075	12	0,030	1.274,666	
13/1/09	19:00	0,07		0,075	12	0,030	1.274,666	
14/1/09	07:00	0,08		0,075	12	0,030	1.274,666	
14/1/09	19:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
15/1/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
15/1/09	19:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
16/1/09	07:00	0,07		0,06	12	0,021	915,562	
16/1/09	19:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
17/1/09	07:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
17/1/09	19:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
18/1/09	07:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
18/1/09	19:00	0,05		0,06	12	0,021	915,562	
19/1/09	07:00	0,07	Precipitação 9 mm	0,07	12	0,027	1.150,812	2709
19/1/09	19:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
20/1/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
20/1/09	19:00	0,07		0,065	12	0,024	1.031,050	
21/1/09	07:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
21/1/09	19:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
22/1/09	07:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
22/1/09	19:00	0,06		0,065	12	0,024	1.031,050	
23/1/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
23/1/09	19:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
24/1/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
24/1/09	19:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
25/1/09	07:00	0,07	Precipitação 20 mm	0,07	12	0,027	1.150,812	6020
25/1/09	19:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
26/1/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
26/1/09	19:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
27/1/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
27/1/09	19:00	0,07		0,065	12	0,024	1.031,050	

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Nível Médio (m)	Total Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
28/1/09	19:00	0,06	Precipitação 16 mm	0,065	12	0,024	1.031,050	4816
29/1/09	07:00	0,07	Precipitação 9 mm	0,07	12	0,027	1.150,812	2709
29/1/09	19:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
30/1/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
30/1/09	19:00	0,07		0,065	12	0,024	1.031,050	
31/1/09	07:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
31/1/09	19:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
1/2/09	07:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
1/2/09	19:00	0,06		0,055	12	0,019	804,555	
2/2/09	07:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
2/2/09	19:00	0,05		0,055	12	0,019	804,555	
3/2/09	07:00	0,06	Precipitação 10 mm	0,06	12	0,021	915,562	3010
3/2/09	19:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
4/2/09	07:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
4/2/09	19:00	0,06		0,055	12	0,019	804,555	
5/2/09	07:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
5/2/09	19:00	0,05		0,055	12	0,019	804,555	
6/2/09	07:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
6/2/09	19:00	0,06		0,065	12	0,024	1.031,050	
7/2/09	07:00	0,07		0,07	12	0,027	1.150,812	
7/2/09	19:00	0,07		0,05	12	0,016	698,260	
8/2/09	07:00	0,03		0,03	12	0,008	326,165	
8/2/09	19:00	0,03		0,04	12	0,012	500,899	
9/2/09	07:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
9/2/09	19:00	0,05		0,055	12	0,019	804,555	
10/2/09	07:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
10/2/09	19:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
11/2/09	07:00	0,06	Precipitação 38 mm	0,06	12	0,021	915,562	11438
11/2/09	19:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
12/2/09	07:00	0,06		0,06	12	0,021	915,562	
12/2/09	19:00	0,06		0,055	12	0,019	804,555	
13/2/09	07:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
13/2/09	19:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
14/2/09	07:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
14/2/09	19:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
15/2/09	07:00	0,05		0,05	12	0,016	698,260	
15/2/09	19:00	0,05				0,000	0,000	
					2.190	6,788	293.373,451	66.521,00 m³
							<b>9.746</b>	<b>2.210 m³/ha</b>



**Planilha de campo do Observador + Equação empírica + Monitoramento de fluxo de saída**

Sistema de cultivo: Cultivo Mínimo - Cacequi/RS

Área: 30,1 hectares

Anotador: João

Cano de Alvenaria = Ø 500 mm

$$n = 0,014$$

$$I_0 = 0,018 \text{ m/m}$$

$$D = 0,5 \text{ m}$$

$$M = \left( \frac{nQ}{\sqrt{I_0}} \right)^{3/8}$$

Data	Hora	Total h	Nível (cm)	y0	teta	o	R <sup>3/8</sup>	Q (l/s)	Vol. Perdido (l/s)
4/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
4/12/08	07:00	12	0,1	1,855	0,259			0,004	192,389
5/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
5/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
6/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
6/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
7/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
7/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
8/12/08	19:00	12	0,12	2,048	0,297			0,005	202,558
8/12/08	07:00	12	0,12	2,048	0,297			0,005	202,558
9/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
9/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
10/12/08	19:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
10/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
11/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
11/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
12/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
12/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
13/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
13/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
14/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
14/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
15/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
15/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
16/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
16/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
17/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
17/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
18/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
18/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
19/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
19/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
20/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
20/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
21/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
21/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
22/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
22/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
23/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
23/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
24/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
24/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
25/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679

Data	Hora	Total h	Nível (cm)	y0	teta	o	R^3/8	Q (l/s)	Vol. Perdido (l/s)
25/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
26/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
26/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
27/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
27/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
28/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
28/12/08	07:00	12	0,12	2,048	0,297			0,005	202,558
29/12/08	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
29/12/08	19:00	12	0,12	2,048	0,297			0,005	202,558
30/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
30/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
31/12/08	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
31/12/08	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
1/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
1/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
2/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
2/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
3/1/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
3/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
4/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
4/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
5/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
5/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
6/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
6/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
7/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
7/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
8/1/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
8/1/09	19:00	12	0,11	1,953	0,279			0,005	197,661
9/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
9/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
10/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
10/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
11/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
11/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
12/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
12/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
13/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
13/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
14/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
14/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
15/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
15/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
16/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
16/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
17/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
17/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
18/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
18/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
19/1/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
19/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
20/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
20/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679

Data	Hora	Total h	Nível (cm)	y0	teta	o	R^3/8	Q (l/s)	Vol. Perdido (l/s)
21/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
21/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
22/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
22/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
23/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
23/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
24/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
24/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
25/1/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
25/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
26/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
26/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
27/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
27/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
28/1/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
28/1/09	19:00	12	0,12	2,048	0,297			0,005	202,558
29/1/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
29/1/09	19:00	12	0,11	1,953	0,279			0,005	197,661
30/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
30/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
31/1/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
31/1/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
1/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
1/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
2/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
2/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
3/2/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
3/2/09	19:00	12	0,12	2,048	0,297			0,005	202,558
4/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
4/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
5/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
5/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
6/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
6/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
7/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
7/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
8/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
8/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
9/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
9/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
10/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
10/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
11/2/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442
11/2/09	19:00	12	0,14	2,230	0,333			0,005	211,413
12/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
12/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
13/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
13/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
14/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
14/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
15/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
15/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239			0,004	186,679
16/2/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350			0,005	215,442

Data	Hora	Total h	Nível (cm)	$y_0$	teta o	$R^{3/8}$	Q (l/s)	Vol. Perdido (l/s)	
16/2/09	19:00	12	0,12	2,048	0,297	0,005	202,558		
17/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239	0,004	186,679		
17/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239	0,004	186,679		
18/2/09	07:00	12	0,09	1,753	0,239	0,004	186,679		
18/2/09	19:00	12	0,09	1,753	0,239	0,004	186,679		
19/2/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350	0,005	215,442		
19/2/09	19:00	12	0,15	2,319	0,350	0,005	215,442		
20/2/09	07:00	12	0,15	2,319	0,350	0,005	215,442		
20/2/09	19:00	12	0,12	2,048	0,297	0,005	202,558		
<b>30.077,346</b>								<b>m<sup>3</sup></b>	
<b>Volume total de 1° saída =</b>								<b>1.498</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>

---

**Planilha de campo do Observador + Equação empírica + Monitoramento de fluxo de saída**

---

Sistema de cultivo - Cultivo Mínimo – Cacequi/RS

Área: 30,1 hectares

Anotador: João

Vertedor Triangular com Abertura Angular ( $\alpha$ ) de 90°

$$Q = 1,32 h^{2,47}$$

---

**Volume total da 2° saída = 923,00 m<sup>3</sup>/ha**

---

**Planilha de campo do Observador + Equação empírica + Monitoramento de fluxo de entrada**

Sistema de cultivo - Convencional - Cachoeira do Sul/RS

Área: 0,80 hectares

Sistema de condução da água: Gravidade

Forma de Abastecimento: Barragem

Observador: João Carlos

Vetedor Triangular com Abertura Angular ( $\alpha$ ) de 45°

$$Q = 0,55h^{2,47}$$

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Total horas	Q (m³ s⁻¹)	Vol. irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
12/11/08	09:00	0,212	Aberto	11,17	0,0119	479,477	
12/11/08	20:10	0	Fechou as 20:10				
13/11/08	08:30	0,222	Aberto	7	0,0134	336,709	
13/11/08	15:30	0	Fechou as 15:30				
17/11/08	08:20	0,187	Aberto	7,17	0,0087	225,753	
17/11/08	15:30	0	Fechou as 15:30				
19/11/08	08:20	0,117	Aberto	6,42	0,0027	63,477	
19/11/08	14:45	0	Fechou as 14:45				
22/11/08	08:45	0,162	Aberto	10,5	0,0061	231,930	
22/11/08	19:15	0	Fechou as 19:15				
24/11/08	16:45	0,182	Aberto	3,5	0,0082	103,065	
24/11/08	20:15	0	Fechou as 20:15				
25/11/08	08:45	0,137	Aberto	48	0,0041	700,820	
25/11/08	17:30	0					
28/11/08	08:45	0,192	Aberto	10,25	0,0093	344,463	
28/11/08	19:00	0	Fechou as 17:00				
30/11/08			Precipitação 20 mm				160
1/12/08			Precipitação 30 mm				240
2/12/08			Precipitação 95 mm				760
4/12/08	14:00	0,152	Aberto	4,5	0,0052	84,924	
4/12/08	18:30	0	Fechou as 18:30				
8/12/08	11:20	0,212	Aberto	8,17	0,0119	350,701	
8/12/08	19:30	0	Fechou as 19:30				
10/12/08	11:00	0,182	Aberto	9	0,0082	265,023	
10/12/08	20:00	0	Fechou as 20:00				
13/12/08	08:35	0,092	Aberto	24	0,0015	131,049	
14/12/08	08:35	0,092		25,917	0,0015	141,516	
15/12/08	10:30	0,192		24	0,0093	806,548	
16/12/08	10:30	0,192		23,5	0,0093	789,745	
17/12/08	10:00	0,172		24	0,0071	614,655	
18/12/08	10:00	0,172		22	0,0071	563,434	
19/12/08	08:00	0,192		9,25	0,0093	310,857	
19/12/08	17:15	0	Fechou as 17:15				
23/12/08	09:00	0,147	Aberto	6,67	0,0048	115,895	
23/12/08	15:40	0	Fechou as 15:40				
24/12/08			Precipitação 35 mm				280
29/12/08	08:45	0,182	Aberto	10,25	0,0082	301,832	
29/12/08	19:00	0	Fechou as 19:00				
31/12/08	09:00	0,162	Aberto	8	0,0061	176,708	
31/12/09	17:00	0	Fechou as 17:00				

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Total horas	Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Vol. irrigação (m <sup>3</sup> )	Vol. Prec. (m <sup>3</sup> )
3/1/09			Precipitação 34 mm				272
6/1/09	08:45	0,162	Aberto	8,25	0,0061	182,231	
6/1/09	17:00	0	Fechou as 17:00				
8/1/09			Precipitação 18 mm				160
9/1/09			Precipitação 10 mm				80
10/1/09			Precipitação 45 mm				360
12/1/09	16:45	0	Fechou as 16:45				
16/1/09	08:45	0,152	Aberto	8,25	0,0052	155,694	
16/1/09	17:00	0	Fechou as 17:00				
19/1/09			Precipitação 38 mm				304
23/1/09	09:30	0,202	Aberto	8,33	0,0106	317,342	
23/1/09	17:50	0	Fechou as 17:50				
26/1/09	08:30	0,152	Aberto	10,83	0,0052	204,384	
26/1/09	19:20	0	Fechou as 19:20				
28/1/09	09:00	0,132	Aberto	7,5	0,0037	99,895	
28/1/09	16:30	0	Fechou as 16:30				
2/2/09	08:40	0,152	Aberto	9,25	0,0052	174,566	
2/2/09	17:55	0	Fechou as 17:55				
10/2/09	09:00	0,177	Aberto	24	0,0076	659,736	
11/2/09	09:00	0	Fechou as 09:00/prec. 25 mm				200
16/2/09	09:30	0,137	Aberto	8,5	0,0041	124,103	
16/2/09	18:00	0	Fechou as 18:00				
20/2/09			Precipitação 100 mm				800
22/2/09			Precipitação 75 mm				600
				396,177	0,2073	9.207,5122	4.216,00 m <sup>3</sup>
						<b>11.509</b>	<b>5.270 m<sup>3</sup>/ ha</b>

**Planilha de campo do Observador + Equação empírica + Monitoramento de fluxo de entrada**

Sistema de cultivo - Pré-Germinado - Cachoeira do Sul/RS

Área = 1,32 hectares

Sistema de condução da água: Gravidade

Forma de Abastecimento: Barragem

Anotador: João Carlos

Vertedor Triangular com abertura angular ( $\alpha$ ) de 60°

$$Q = 0,76h^{2,47}$$

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Total horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
20/10/08	09:00	0,235	Aberto	8,17	0,021	624,994	
20/10/08	17:10	0,215		2,33	0,017	143,085	
20/10/08	19:30	0,165		19,00	0,009	606,813	
21/10/08	14:30	0	Fechou as 14:30				
22/10/08			chuva 65 mm				858
25/10/08			chuva 71 mm				937,2
26/10/08							
29/10/08			chuva 6 mm				79,2
30/10/08			Fechado				
31/10/08	08:30	0,225	Aberto	7,00	0,019	480,956	
6/11/08			chuva 15 mm				198
8/11/08	15:00	0,235	Aberto	7,00	0,021	535,490	
8/11/08	22:00	0	Fechou as 22:00				
12/11/08	09:00	0,125	Aberto	8,50	0,004	136,742	
12/11/08	17:30	0	Fechou as 17:30				
17/11/08	08:30	0,115	Aberto	7,00	0,004	91,651	
17/11/08	15:30	0,165		3,00	0,009	95,813	
17/11/08	18:30	0	Fechou as 18:30				
19/11/08	08:20	0,085	Aberto	6,42	0,002	39,840	
19/11/08	14:45	0	Fechou as 14:45				
22/11/08	08:45	0,125	Aberto	10,50	0,004	168,917	
22/11/08	19:15	0	Fechou				
24/11/08	16:45	0,095	Aberto	17,00	0,002	138,849	
25/11/08	09:45	0,165	Aberto	7,25	0,009	231,547	
25/11/08	17:30	0					
28/11/08	08:45	0,175	Aberto	10,25	0,010	378,568	
28/11/08	19:00	0	Fechou as 19:00				
30/11/08			20 mm				264
01/12/08			30 mm				396
02/12/08			95 mm				1254
4/12/08	14:00	0,185	Aberto	4,17	0,012	176,671	
4/12/08	18:10	0	Fechou as 18:10				
8/12/08	11:20	0,135	Aberto	8,17	0,005	158,951	
8/12/08	19:30	0	Fechou as 19:30				
9/12/08		0	Fechado				
10/12/08	11:00	0,105	Aberto	9,00	0,003	94,123	
10/12/08	20:00	0	Fechou as 20:00				
12/12/08	08:35	0,07	Aberto	24	0,001	92,198	
13/12/08	08:35	0,07	Aberto	32,41	0,001	124,505	
14/12/08	17:00	0	Fechou as 17:00				
15/12/08	10:20	0,095	Aberto	24	0,002	196,022	

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Total horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
16/12/08	10:20	0,095		24	0,002	196,022	
17/12/08	10:20	0,095		24	0,002	196,022	
18/12/08	10:20	0,095		24	0,002	196,022	
19/12/08	10:20	0,095		24	0,002	196,022	
20/12/08	10:20	0,095		23,42	0,002	191,285	
21/12/08	09:45	0,105		24	0,003	250,995	
22/12/08	09:45	0,105		29,92	0,003	312,907	
23/12/08	15:40	0	Fechou as 15:40				
24/12/08			35 mm				462
26/12/08	09:45	0,065	Aberto	24	0,001	76,776	
27/12/08	09:45	0,065		24	0,001	76,776	
28/12/08	09:45	0,065		23	0,001	73,577	
29/12/08	08:45	0,115		8,75	0,004	114,564	
29/12/08	17:30	0	Fechou as 17:30				
3/01/09			34				448,8
5/1/09	08:15	0,095	Aberto	24	0,002	196,022	
6/1/09	08:15	0,095		21	0,002	171,519	
7/1/09	17:30	0	Fechou as 17:30				
8/1/09			18 mm				264
9/1/09			10 mm				132
10/1/09			45 mm				594
12/1/09	08:45	0,095	Aberto	24	0,002	196,022	
13/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
14/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
15/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
16/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
17/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
18/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
19/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
19/1/09			38 mm				501,6
20/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
21/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
22/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
23/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
24/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
25/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
26/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
27/1/09	08:45	0,095		24	0,002	196,022	
28/1/09	16:30	0,095	Fechou as 16:30	7,75	0,002	63,299	
30/1/09	08:30	0,08	Aberto	24	0,001	128,221	
31/1/09	17:30	0	Fechou as 17:30				
3/2/09	08:30	0,08	Aberto	24	0,001	128,221	
4/2/09	08:30	0,08		24	0,001	128,221	
5/2/09	17:00	0,08	Fechou as 17:00	8,5	0,001	45,412	
7/2/09	08:30	0,08	Aberto	9	0,001	48,083	
7/2/09	17:30	0	Fechou as 17:30				
10/2/09	09:00	0,08	Aberto	24	0,001	128,221	
11/2/09	09:00	0,08		24	0,001	128,221	
11/2/09			25 mm				330
12/2/09	09:00	0,08		24	0,001	128,221	
13/2/09	09:00	0,08		24	0,001	128,221	
14/2/09	09:00	0,08		24	0,001	128,221	
15/2/09	09:00	0,08		24	0,001	128,221	



Data	Hora	Nível (m)	Observações	Total horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
16/2/09	09:00	0,08		24	0,001	128,221	
17/2/09	17:30	0	Fechou as 17:30				
18/2/09	08:30	0,105	Aberto	9	0,003	94,123	
18/2/09	17:30	0	Fechou as 17:30				
20/2/09	08:30	0,075	Aberto	24	0,001	109,327	
20/2/09			100 mm				1320
22/2/09			75 mm				990
24/2/09	08:30	0,075		24	0,001	109,327	
25/2/09			Fechou as 17:30				
				1291,51	0,250	11980,357	9.028,8 m3
						<b>9.076</b>	<b>6.840 m3/ha</b>

**Planilha de campo do Observador + Equação empírica + Monitoramento de fluxo de entrada**

Sistema de cultivo - Plantio Direto - Cachoeira do Sul/RS

Área: 0,66 hectares

Sistema de condução da água: Gravidade

Forma de abastecimento: Barragem

Observador: João Carlos

$$Q = 0,55h^{2,47}$$

Vertedor Triangular com Abertura Angular ( $\alpha$ ) de 45°

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Total horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
12/11/08	09:00	0,185	Aberto	11,17	0,0085	342,478	
12/11/08	20:10	0	Fechou as 20:10				
13/11/08	08:30	0,205	Aberto	7	0,0110	276,564	
13/11/08	15:30	0	Fechou as 15:30				
17/11/08	08:20	0,155	Aberto	7,17	0,0055	142,005	
17/11/08	15:30	0	Fechou as 15:30				
19/11/08	08:20	0,125	Aberto	6,42	0,0032	74,743	
19/11/08	14:45	0	Fechou as 14:45				
22/11/08	08:45	0,155	Aberto	10,5	0,0055	207,957	
22/11/08	19:15	0	Fechou as 19:15				
24/11/08	16:45	0,165	Aberto	3,5	0,0064	80,894	
24/11/08	20:15	0	Fechou as 20:15				
25/11/08	08:45	0,12	Aberto	8,15	0,0029	85,783	
25/11/08	17:30	0	Fechou as 17:30				
28/11/08	08:45	0,135	Aberto	8,25	0,0039	116,157	
28/11/08	19:00	0	Fechou as 19:00				
30/11/08			Precipitação 20 mm				132
1/12/08			Precipitação 30 mm				198
2/12/08			Precipitação 95 mm				627
4/12/08	14:00	0,125	Aberto	4,25	0,0032	49,479	
4/12/08	18:15	0	Fechou as 18:15				
8/12/08	11:20	0,175	Aberto	8,17	0,0074	218,369	
8/12/08	19:30	0	Fechou as 19:30				
10/12/08	11:00	0,155	Aberto	9	0,0055	178,249	
10/12/08	20:00	0	Fechou as 20:00				
13/12/08	08:35	0,125	Aberto	24	0,0032	279,411	
14/12/08	08:35	0,125		25,917	0,0032	301,729	
15/12/08	10:30	0,17		24	0,0069	597,153	
16/12/08	10:30	0,17		23,5	0,0069	584,712	
17/12/08	10:00	0,155		24	0,0055	475,331	
18/12/08	10:00	0,155		22	0,0055	435,720	
19/12/08	08:00	0,165		9,25	0,0064	213,792	
19/12/08	17:15	0	Fechou as 17:45				
23/12/08	09:00	0,125	Aberto	6,67	0,0032	77,653	
23/12/08	15:40	0	Fechou as 15:40				
24/12/08			Precipitação 35 mm				231
29/12/08	08:45	0,155	Aberto	10,75	0,0055	212,908	
29/12/08	19:00	0	Fechou as 19:00				
31/12/08	09:00	0,125	Aberto	8	0,0032	93,137	
31/12/09	17:00	0	Fechou as 17:00				

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Total horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
3/1/09			Precipitação 34 mm				224,4
6/1/09	08:45	0,075	Aberto	8,25	0,0009	27,197	
6/1/09	17:00	0	Fechou as 17:00				
8/1/09			Precipitação 18 mm				132
9/1/09			Precipitação 10 mm				66
10/1/09			Precipitação 45 mm				297
12/1/09	08:45	0,125	Aberto	8	0,0032	93,137	
12/1/09	16:45	0	Fechado				
16/1/09	08:45	0,115	Aberto	8,25	0,0026	78,170	
16/1/09	17:00	0	Fechou as 17:00				
19/1/09			Precipitação 38 mm				250,8
23/1/09	09:30	0,155	Aberto	8,33	0,0055	164,979	
23/1/09	17:50	0	Fechou as 17:50				
24/1/09	09:30	0,215	Aberto	8	0,0123	355,532	
24/1/09	17:30	0	Fechou as 17:30				
26/1/09	08:30	0,165	Aberto	9	0,0064	208,014	
26/1/09	19:30	0	Fechou as 19:30				
28/1/09	09:00	0,115	Aberto	7,5	0,0026	71,064	
28/1/09	16:30	0	Fechado				
2/2/09	08:40	0,105	Aberto	9,25	0,0021	70,007	
2/2/09	17:55	0	Fechou as 17:55				
10/2/09	09:00	0,135	Aberto	24	0,0039	337,910	
11/2/09	09:00	0	Fechou as 09:00/ Precipitação 25 mm				165
16/2/09	09:30	0,125	Aberto	8,5	0,0032	98,958	
16/2/09	18:00	0	Fechou as 18:00				
20/2/09			Precipitação 100 mm				660
22/2/09			Precipitação 75 mm				495
				360,75	0,1558	6.549,193	3478,20 m³
						<b>9.923</b>	<b>5.270 m³/ha</b>

---

**Planilha de campo do Observador + Equação empírica + Monitoramento de fluxo de entrada**


---

Sistema de cultivo - Convencional - Manoel Viana/RS

Área: 4,0 hectares

Sistema de condução de água: Gravidade

Forma de abastecimento: Rio

Observador: João Derli

Vertedor Triangular com Abertura Angular ( $\alpha$ ) de 60°

$$Q = 0,76h^{2,47}$$

Data	Hora	Nível (cm)	Observações	Nível Méd. (m)	Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
15/12/08	08:30	8	Início da irrigação	0,1075	6,50	0,0031	72,046	
15/12/08	15:00	13,5		0,15	17,50	0,0070	441,672	
16/12/08	08:30	16,5		0,1675	6,50	0,0092	215,450	
16/12/08	15:00	17		0,1525	17,50	0,0073	460,077	
17/12/08	08:30	13,5		0,13	6,50	0,0049	115,205	
17/12/08	15:00	12,5		0,1225	17,50	0,0043	267,824	
18/12/08	08:30	12		0,145	6,50	0,0064	150,872	
18/12/08	15:00	17		0,1775	17,50	0,0106	669,382	
19/12/08	08:30	18,5		0,1825	6,50	0,0114	266,286	
19/12/08	15:00	18		0,1775	17,50	0,0106	669,382	
20/12/08	08:30	17,5	Fechou as 08:30					
02/01/09	08:30	13,5	Abriu as 08:30	0,1175	6,50	0,0038	89,748	
02/01/09	15:00	10		0,0975	17,50	0,0024	152,404	
03/01/09	08:30	9,5		0,0975	6,5	0,0024	56,607	
03/01/09	15:00	10	Precipitação 1 mm	0,0975	17,5	0,0024	152,404	40
04/01/09	08:30	9,5		0,0975	6,5	0,0024	56,607	
04/01/09	15:00	10	Fechou as 15:00					
13/01/09	08:30	2	Abr. 08:30	0,035	6,5	0,0002	4,507	
13/01/09	15:00	5	Precipitação 13 mm	0,065	17,5	0,0009	55,982	520
14/01/09	08:30	8		0,0825	6,5	0,0016	37,469	
14/01/09	15:00	8,5		0,0815	17,5	0,0016	97,884	
15/01/09	08:30	7,8		0,085	6,5	0,0017	40,336	
15/01/09	15:00	9,2	Fechou as 15:00					
22/01/09	08:30	9	Abriu as 08:30	0,0925	6,5	0,0021	49,705	
22/01/09	15:00	9,5		0,095	17,5	0,0023	142,933	
23/01/09	08:30	9,5		0,0975	6,5	0,0024	56,607	
23/01/09	15:00	10		0,0975	17,5	0,0024	152,404	
24/01/09	08:30	9,5		0,0975	6,5	0,0024	56,607	
24/01/09	15:00	10		0,0975	17,5	0,0024	152,404	
25/01/09	08:30	9,5		0,0975	6,5	0,0024	56,607	
25/01/09	15:00	10	Fechou as 15:00					
28/01/09			Precipitação 26 mm					1040
01/02/09	08:30	10,5	Abriu as 08:30	0,1025	6,5	0,0027	64,050	
01/02/09	15:00	10		0,1025	17,5	0,0027	172,442	
02/02/09	08:30	10,5		0,1025	6,5	0,0027	64,050	
02/02/09	15:00	10		0,1025	17,5	0,0027	172,442	
03/02/09	08:30	10,5		0,1025	6,5	0,0027	64,050	
03/02/09	15:00	10		0,1025	17,5	0,0027	172,442	
04/02/09	08:30	10,5		0,1065	6,5	0,0030	70,402	
04/02/09	15:00	10,8						
05/02/09			Fechado					

---

Data	Hora	Nível (cm)	Observações	Nível Méd. (m)	Horas	Q (m³/s)	Vol. Irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
09/02/09	08:30	11,5	Abriu as 08:30	0,1125	6,5	0,0034	80,608	
09/02/09	15:00	11		0,11	17,5	0,0033	205,302	
10/02/09	08:30	11		0,109	6,5	0,0032	74,554	
10/02/09	15:00	10,8		0,119	17,5	0,0040	249,319	
11/02/09	08:30	13	Fechou 08:00					
12/02/09			Precipitação 46 mm					1840
19/02/09			Precipitação 16 mm					800
23/02/09			Precipitação 5 mm					200
26/02/09			Precipitação 24 mm					960
02/03/09			Precipitação 110 mm					4400
04/03/09			Precipitação 20 mm					800
09/03/09			Precipitação 14 mm					560
					434,00	0,1441	6.129,07	11.160 m³
							<b>1.503</b>	<b>2.790 m³/ha</b>

---

**Planilha de campo do Observador + Equação empírica + Monitoramento de fluxo de entrada**


---

Sistema de cultivo - Cultivo Mínimo - Santa Maria/RS

Área: 11,5 hectares

Sistema de condução da água: Gravidade

Forma de abastecimento: Barragem

Anotador: Gerson Bianchim

Canal regular em madeira = 0,6 m

 Variáveis: I (m/m) = 0,01  
 L (m) = 2  
 η = 0,0161

$$Q_{obs} = \frac{1}{n} AR_h^{2/3} I^{1/2}$$

Data	Hora	Nível (m)	Observações	Horas	Área (m²)	Raio Hidráulico	Q (m³/s)	Vol. irrigação (m³)	Vol. Prec. (m³)
13/11/08	14:00	0,06	Início da Irrigação	24	0,036	0,0500	0,0303	2618,45	
14/11/08	14:00	0,06		24	0,036	0,0500	0,0303	2618,45	
15/11/08	14:00	0,06		24	0,036	0,0500	0,0303	2618,45	
16/11/08	14:00	0,06		18	0,036	0,0500	0,0303	1963,84	
17/11/08	08:00	0	Fechou as 08:00		0	0,0000	0,0000	0,00	
21/11/08	08:00	0,05	Aberto	24	0,03	0,0429	0,0228	1968,94	
22/11/08	08:00	0	Fechou as 08:00		0	0,0000	0,0000	0,00	
27/11/08	10:00	0,07	Aberto	24	0,042	0,0568	0,0385	3324,22	
28/11/08	10:00	0,07		21	0,042	0,0568	0,0385	2908,69	
29/11/08	07:00	0	Fech 07hs/prec. 40 mm		0	0,0000	0,0000	0,00	4600
10/12/08	09:00	0,065	Aberto	25	0,039	0,0534	0,0343	3088,28	
11/12/08	10:00	0,035		24	0,021	0,0313	0,0129	1118,78	
12/12/08	10:00	0,035		24	0,021	0,0313	0,0129	1118,78	
13/12/08	10:00	0,035		24	0,021	0,0313	0,0129	1118,78	
14/12/08	10:00	0,035		24	0,021	0,0313	0,0129	1118,78	
15/12/08	10:00	0,035		24	0,021	0,0313	0,0129	1118,78	
16/12/08	10:00	0,035		24	0,021	0,0313	0,0129	1118,78	
17/12/08	10:00	0,035		24	0,021	0,0313	0,0129	1118,78	
18/12/08	10:00	0,035		24	0,021	0,0313	0,0129	1118,78	
19/12/08	10:00	0,035		22	0,021	0,0313	0,0129	1025,55	
20/12/08	08:00	0,07		24	0,042	0,0568	0,0385	3324,22	
21/12/08	09:00	0,03	Precipitação 22 mm	24	0,018	0,0273	0,0101	874,02	2530
22/12/08	08:00	0,03		24	0,018	0,0273	0,0101	874,02	
23/12/08	08:00	0,03		24	0,018	0,0273	0,0101	874,02	
24/12/08	08:00	0	Fechou as 08:00		0	0,0000	0,0000	0,00	
31/12/08	16:00	0,06	Aberto	24	0,036	0,0500	0,0303	2618,45	
1/1/09	16:00	0,06		24	0,036	0,0500	0,0303	2618,45	
2/1/09	18:00	0,06	Fechou as 18:00	2	0,036	0,0500	0,0303	218,20	
3/1/09			Precipitação 45 mm						5175
8/1/09			Precipitação 45 mm						5175
10/1/09			Precipitação 22 mm						2530
19/1/09			Precipitação 20 mm						2300
20/1/09	08:00	0,08	Aberto	24	0,048	0,0632	0,0472	4079,63	
21/1/09	08:00	0	Precipitação 30 mm		0	0,0000	0,0000	0,00	3450
3/2/09			Precipitação 20 mm						2300
				568			0,579	46.566,06	28.060 m³
								<b>4.049</b>	<b>2.440 m³/ha</b>

---