

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS
HIDRÁULICOS DE MEDIÇÃO DE ÁGUA DE
IRRIGAÇÃO DE ARROZ**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Glauco de Oliveira da Luz

Santa Maria, RS, Brasil

2011

COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS HIDRÁULICOS DE MEDIÇÃO DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DE ARROZ

Glauco de Oliveira da Luz

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientadora: Prof^a. Dra. Jussara Cabral Cruz

Santa Maria, RS, Brasil
2011

L979c Luz, Glauco de Oliveira da
irrigação Comparação entre dois sistemas hidráulicos de medição de água de
irrigação de arroz / por Glauco de Oliveira da Luz. – 2011.
120 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: Jussara Cabral Cruz
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2011

1 .Engenharia civil 2. Arroz irrigado 3. Volume de irrigação 4.
Hidrômetros 5. Vertedores de parede delgada I. Cruz, Jussara Cabral II. Título.

CDU 624

Ficha catalográfica elaborada por Cláudia Terezinha Branco Gallotti – CRB 10/1109
Biblioteca Central UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS HIDRÁULICOS DE
MEDIÇÃO DE AGUA DE IRRIGAÇÃO DE ARROZ**

elaborada por
Glauco de Oliveira da Luz

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Jussara Cabral Cruz, Dra.
(Presidente/Orientador)

Daniela Guzzon Sanagiotto, Dra. (UFSM)

Fernando Setembrino Cruz Meirelles, Dr. (UFRGS)

Santa Maria, 24 de fevereiro de 2011.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo total e irrestrito apoio durante todos esses anos de estudo;
À minha orientadora Prof^a Jussara Cabral Cruz, pelo prestimoso auxílio técnico e pela sua amizade;
Aos colegas de mestrado, pelo apoio técnico e pela amizade;
Ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), pela colaboração na realização da pesquisa;
Ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFSM) e Departamento de Solos (UFSM) pela cooperação na realização dos experimentos;
À CAPES, pela bolsa de estudos;
Ao grupo de pesquisa GERHI/UFSM, pelo apoio técnico e científico

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Centro de Tecnologia
Universidade Federal de Santa Maria

COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS HIDRÁULICOS DE MEDIÇÃO DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DE ARROZ

AUTOR: GLAUCO DE OLIVEIRA DA LUZ
ORIENTADORA: JUSSARA CABRAL CRUZ
Santa Maria, 24 de fevereiro de 2011.

As lavouras de arroz irrigado são as principais usuárias de água durante o seu ciclo produtivo. Com isto, em locais onde existe escassez de água para atender a diversos usos este tipo de empreendimento se caracteriza como um potencial conflitante, uma vez que para produção de um hectare de arroz são necessários milhares de metros cúbicos de água. Para resolver estes conflitos, muitos instrumentos estão sendo desenvolvidos, como a outorga e a cobrança pelo uso da água. No entanto, para a efetividade destes instrumentos, é necessária uma fiscalização extensiva sobre todos os produtores e usuários, monitorando os respectivos volumes utilizados. Sendo uma fiscalização deste tipo insustentável para o órgão gestor se faz necessário o estudo de metodologias de determinação de vazões e volumes de irrigação que sejam de fácil entendimento e aplicação, para que possam ser utilizadas e monitoradas pelos próprios produtores rurais (automonitoramento). Foram testados comparativamente dois tipos de sistemas hidráulicos, Vertedores de parede delgada e Hidrômetros Velocimétricos, medidores de vazões e volumes respectivamente, para monitoramento dos volumes de irrigação de duas parcelas de arroz irrigado na safra de 2009/2010, localizados na cidade de Cachoeira do Sul, na localidade de Capané. Em cada uma das parcelas, uma com sistema de plantio Direto e área de 0,66 ha e outra com plantio Convencional com área de 0,80 ha, o monitoramento da água ocorreu de forma simultânea através da utilização de vertedores e hidrômetros instalados em série e confinados, ou seja, a água monitorada por um era a mesma que a monitorada pelo outro. Foi utilizado Pluviômetro no monitoramento do volume total de precipitações, para que juntamente com o volume de irrigação fosse determinado o volume total necessário ao cultivo do arroz naquelas parcelas. O resultado do monitoramento comparativo entre Vertedores e Hidrômetros apresentou pequena variação no resultado final, sendo a diferença de 1,15% monitorada a mais pelo Hidrômetro em relação ao vertedor na parcela com plantio Direto e 6,75% a menos pelo Hidrômetro que o Vertedor na parcela com plantio Convencional. No entanto, foram verificadas variações diárias entre os Vertedores e os Hidrômetros que alcançaram 82% no plantio direto e 39% no plantio convencional. O volume total monitorado para cada parcela foi de 8565,15 m³/ha na parcela com plantio Direto e 9987,25 m³/ha no plantio Convencional, ambos considerando os resultados obtidos com os vertedores. Com os resultados obtidos e as características de operação e manutenção dos sistemas analisados, verifica-se a viabilidade da utilização de Vertedores de parede delgada para o automonitoramento de água em lavouras orizícolas, no entanto, através do estudo comparativo dos dois sistemas, não se recomenda a utilização de Hidrômetros Velocimétricos neste meio.

Palavras-chave: arroz irrigado; volume de irrigação; vertedores de parede delgada; hidrômetros.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Civil Engineering
Technology Center
Universidade Federal de Santa Maria

COMPARISON BETWEEN TWO HIDRAULICS SYSTEMS OF MEASUREMENT OF RICE IRRIGATION WATER

AUTHOR: Glauco de Oliveira da Luz
ADVISER: Jussara Cabral Cruz
Santa Maria, February 24th 2011.

The irrigated farm crops are the main users of water. With this, in places where there is a water shortage to attend all sorts of use, this kind of activity is characterized like as a potentially conflicting, once that to produce one hectare of rice, are necessary thousands cubic meters of water. To work out this conflict, many actions are been developed, as giving rights and tax to use water. Although, to the effectiveness of that actions, is necessary an effective inspection over all of the producers and users, monitoring each volume used. Being a inspection this kind unsustainable to the manager, is necessary the study of methodologies to determine water flow and volumes of irrigation, which shall be easily understood and applied, to be used by the producers themselves. Were tested, comparatively, two sorts of hydraulics systems, sharp crested Weirs and Velocimetric Hydrometers, measurers of water flow and volumes respectively, for monitoring the volumes of irrigation of two parcels of irrigated rice in the harvest 2009/2010, located in Cachoeira do Sul city, in Capané locality. In each parcel, one with Direct tillage and area of 0,66 ha and another one with Conventional tillage and area of 0,80 ha, the monitoring of water occurred simultaneously by using the Weirs and Hydrometers installed in sequence and confined, in other words, the monitored water was the same in both systems. Was used Pluviometer to monitoring the total volume of rain fall, in order that, with the irrigation volume was calculated the total volume necessary to that rice parcels. The results of the comparative monitoring between Weirs of Thin Wall and Velocimetric Hydrometers showed a small difference in the final results, been the difference of 1,15% bigger by the Hydrometer in relation to Weir in the parcel with Direct tillage and 6,75% smaller by Hydrometer in relation to Weir in Conventional tillage. However, Were verified daily variations between the Weirs and Hydrometers that reached 82% in the Direct tillage and 39% in the Conventional tillage. The total volume monitored to each parcel was 8565,15 m³/ha in the parcel with Direct tillage and 9987,25 m³/ha in the conventional tillage, both considering the results of Weirs. With the results found and the characteristics of operation and maintenance of the analyzed systems, is checked the availability of using sharp crested Weirs for monitoring water quantity in rice crops, although by the comparatively study oh both systems, is not recommended to use hydrometers in these ways.

Key-words: irrigated rice; irrigation volume; sharp crested weirs; hydrometers.

Lista de Figuras

Figura 1 - Croqui - Vertedor Retangular	24
Figura 2 - Croqui - Vertedor Triangular	26
Figura 3 - Vertedor Trapezoidal.....	28
Figura 4 - Curva de Erros Padrão para Hidrômetros novos.	39
Figura 5 - Localização da área experimental (Cachoeira do Sul).....	43
Figura 6 - Vista da área experimental do IRGA – Localidade de Capané.	43
Figura 7 - Aparelho GPSMAP 76 CSx.....	44
Figura 8 - Vista da parcela com sistema de plantio convencional.	46
Figura 9 - Vista da parcela com sistema de plantio direto.	46
Figura 10 - Vertedor 45°, Plantio Direto - Cachoeira do Sul.....	48
Figura 11 - Croqui do vertedor triangular ($\alpha = 45^\circ$).....	49
Figura 12 - Hidrômetro Plantio Convencional.....	51
Figura 13 - Hidrometro Plantio Direto.....	51
Figura 14 - Turbina- Hidrômetro.	52
Figura 15 - Canal de monitoramento (Plantio Direto).	53
Figura 16 - Canal de monitoramento (Plantio convencional).....	53
Figura 17 - Planta Baixa do sistema “Vertedor x Hidrômetro”	54
Figura 18 - Planta de Corte do sistema “Vertedor x Hidrômetro”	54
Figura 19 - Sistema Comparativo - Hidrômetro x Vertedor.	56
Figura 20 - Sistema Comparativo – Hidrômetro x Vertedor.....	56
Figura 21 - Vista do hidrômetro instalado no sistema de plantio direto.	59
Figura 22 - Vista do hidrômetro instalado no sistema de plantio convencional	60
Figura 23 - Sistema - Hidrômetro x Vertedor na área de plantio direto.	61
Figura 24 - Sistema - Hidrômetro x Vertedor na área de plantio convencional.	61
Figura 25 - Pluviômetro da marca Incoterm®.....	64
Figura 26 - Planilha de monitoramento.	65
Figura 27 - Instalação do sensor de nível.	68
Figura 28 - Teste com Método Volumétrico.....	69
Figura 29 - Teste com Sensor de Nível.....	71
Figura 30 - Sensor de Nível – Plantio Direto.	72
Figura 31 - Sujeira no Hidrômetro (1).....	73
Figura 32 - Sujeira no Hidrômetro (2).....	74
Figura 33 - Trancamento parcial do Hidrômetro (peixes)	75
Figura 34 - Teste com Método Volumétrico.....	88

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estimativa de Volume de água para lavouras orizícolas.	17
Tabela 2 - Consumo anual de água por lavoura de arroz irrigado em área não sistematizada por classe textural de solos.	17
Tabela 3 - Consumo de água pela lavoura orizícola de acordo com o tipo de solos da bacia hidrográfica do rio Ibicuí.....	18
Tabela 4 - Aferição com sensores - Plantio Direto.	72
Tabela 5 - Aferição com sensores - Plantio Convencional	74
Tabela 6 - Aferição com sensores (pós-safra) – Plantio Direto.	80
Tabela 7 - Aferição com sensores (pós-safra) – Plantio Convencional	81
Tabela 8 - Aferição por Método Volumétrico	89
Tabela 9 - Resultado do monitoramento com vertedores - safra 2009/2010.....	91
Tabela 10 - Classificação dos Solos das Parcelas.....	91
Tabela 11 - Resultado do monitoramento com hidrômetros (safra 2009/2010).	93
Tabela 12 - Automonitoramento com vertedores e hidrômetros (Safra 2009/2010)..	94
Tabela 13 - Diferença entre mesmas estruturas.	95
Tabela 14 - Comparativo Diário - Plantio Convencional.....	96
Tabela 15 - Comparativo Diário - Plantio Direto.....	97
Tabela 16 - Vazão Média do Hidrômetro – Plantio Direto.	100
Tabela 17 - Vazão Média do Hidrômetro– Plantio Convencional.	101
Tabela 18 - Comparativo entre as Metodologias de Implantação dos Hidrômetros.	103

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivo Geral	21
1.2.1	Objetivos Específicos	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	Vertedores	22
2.1.1	Vertedor retangular de soleira delgada com contração lateral	24
2.1.2	Vertedor triangular de soleira delgada com contração lateral	25
2.1.3	Vertedor trapezoidal de soleira delgada com contração lateral	27
2.1.4	Vertedor retangular de soleira delgada sem contração lateral	29
2.2	Hidrômetros	31
2.2.1	Principio de Funcionamento	31
2.2.2	Classe Metrológica	33
2.2.3	Erros de Medição com Hidrômetros	34
2.3	Arroz Irrigado	39
3	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	42
3.1	Caracterização da Área de Estudo	42
3.1.1	Localização	42
3.1.2	Determinação da Área Total de Cada Parcela	44
3.1.3	Características das Parcelas	45
3.2	Escolha e Dimensionamento dos Vertedores	47
3.3	Hidrômetros	49
3.4	Implantação das Estruturas Hidráulicas	52
3.4.1	Implantação do Sistema “Vertedor x Hidrômetro”	52
3.4.2	Implantação dos Vertedores	57
3.4.3	Implantação dos Hidrômetros	58
3.5	Pluviômetro	62
3.6	Monitoramento	64
3.6.1	Monitoramento das Vazões	64
3.6.2	Rotina de Irrigação	66
3.7	Aferição das Estruturas	66
3.7.1	Aferição com Sensores Automáticos de Nível	67
3.7.2	Medição Volumétrica – Cubagem (Método Direto)	69
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1	Resultados das Aferições	70
4.1.1	Aferição com Sensores automáticos de Nível	70
4.1.2	Aferição pelo Método Volumétrico (Cubagem)	88
4.2	Resultados do Monitoramento com Vertedores	90
4.3	Resultados do Monitoramento com Hidrômetros	92
4.4	Análise Comparativa dos Sistemas Hidráulicos Monitorados	94
4.5	Análise das Metodologias de monitoramento com Hidrômetros	102
5	CONCLUSÕES	105
6	RECOMENDAÇÕES	109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
	ANEXOS	114

1 INTRODUÇÃO

As taxas de crescimento da produção agrícola mundial superada pelas dos incrementos populacionais nos últimos anos, vêm causando certa inquietude com relação à segurança alimentar. Ao lado da oferta de alimentos estão a degradação dos solos, a baixa resposta positiva da produtividade ao uso de fertilizantes e defensivos, principais entraves que inviabilizaram o aumento da produção agrícola compatível com a população (CHRISTOFIDIS 1997 apud PAZ et al., 2000).

Para uma produção sempre crescente de alimentos, a alternativa está na produção agrícola sob irrigação, que tem possibilitado um número maior de safras por ano, principalmente em países do hemisfério sul; tendo em vista ser o setor agrícola o maior usuário de água e como esta é o componente essencial e estratégico ao desenvolvimento da agricultura, o controle e a administração adequada e confiável possibilitarão o manejo justo e equilibrado, preservando a sua qualidade e quantidade. (Paz et. al. 2000).

Segundo Gomes e Magalhães (2004) a agricultura, através da irrigação, é a atividade que mais utiliza água em nível mundial. Sendo utilizado para a agricultura irrigada cerca de 70% da água derivada de rios, lagos e mananciais subterrâneos, enquanto a indústria consome 23% e o abastecimento humano, 7%.

Para Righes (2000) depois de suprir as necessidades de uso humano, a agricultura constitui-se o uso de água mais importante. Segundo o autor, 90% da água utilizada para o abastecimento humano ou indústria retornam diretamente 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.

Para fins de irrigação na agricultura, o manejo da água nas lavouras compreende os processos de captação, distribuição e controle. Todavia, quando levada em consideração relação custo/benefício e eficiência de irrigação, pode-se conceituar o manejo da água como conjunto de procedimentos que devem ser adotados no sentido de assegurar, a uma determinada cultura, uma quantidade de

água que viabilize a expressão de seu potencial produtivo, dentro de determinadas condições de operacionalidade de clima. (Gomes & Magalhães, 2004)

Dentre as principais culturas irrigadas na agricultura, a quantidade de água exigida pela cultura do arroz vem sendo alvo de estudos, pois se trata de um importante fator quanto à gestão dos recursos hídricos, uma vez que apresenta os maiores volumes de água utilizada durante o ciclo produtivo. (UFSM/CNPq, 2007)

Somando-se ao fato de que as lavouras orizícolas apresentam os maiores índices de utilização de água, a área cultivada com arroz irrigado até o ano de 2000 já ultrapassava 1.000.000 de hectares no estado do Rio Grande do Sul de acordo com Righes (2000).

Em estudo realizado por Fisher (2006, apud Meirelles 2009) no ano de 2005 a área destinada ao cultivo de arroz irrigado já alcançava aproximadamente 1.039.421 hectares, sendo o estado brasileiro que apresenta maior área irrigada.

Considerando a importância da irrigação nas lavouras orizícolas, Sosbai (2005) define que a quantidade de água exigida para o cultivo de arroz pode ser caracterizada como o somatório da água necessária para saturar o solo, formar uma lâmina, compensar a evapotranspiração e repor as perdas por percolação vertical, as perdas laterais e dos canais de irrigação.

Esta quantidade de água utilizada para o cultivo do arroz irrigado ainda depende, das condições climáticas, do manejo da cultura, das características físicas do solo, das dimensões e revestimento dos canais, da duração do ciclo da cultivar, da localização da fonte e da profundidade do lençol freático. (SOSBAI, 2005)

Muitos dos fatores que interferem na quantidade de água utilizada no cultivo de arroz irrigado se bem manejados podem reduzir significativamente o volume final necessário a cultura. No entanto, na maioria dos casos, devido a falta de informação dos produtores quanto à real necessidade de água na cultura do arroz, bem como a utilização de sistemas de controle de irrigação precários, os volumes utilizados pelos produtores não condiz com a real necessidade da cultura do arroz, sendo geralmente utilizados volumes superestimados. (MARCOLIN et al 2007)

Uma consequência da realização de uma irrigação superestimada é a retirada excessiva e não necessária de água dos corpos hídricos. Essa situação, de acordo com Meirelles (2009) refere-se à baixa eficiência de irrigação, com valores de eficiência abaixo do que é tecnicamente possível, acarretando numa retirada desnecessária de água dos corpos hídricos, uma vez que esta água não será

aproveitada pelas culturas, e na maior parte dos casos, não proporcionará qualquer benefício econômico e ainda em detrimento de outros usos concorrentes.

Esta situação, juntamente com o cenário natural de menor disponibilidade hídrica na época de plantio, ou seja, no verão, gera cenários de escassez de água principalmente para irrigação sob inundações, que em muitos casos acarreta em conflitos pelo uso da água entre os diferentes usuários. (RIGHES, 2000)

Os conflitos pelo uso da água criados pela situação de escassez vêm se agravando dia após dia, tornando-se alvo constante de debates, principalmente em locais onde existe a presença de lavouras irrigadas. Esta situação remete para as necessidades de interferência dos órgãos gestores locais, a fim de gerir os conflitos e realizar uma harmônica utilização dos recursos hídricos. (CRUZ e SILVEIRA 2007)

Desta maneira, o fomento de ações para induzir o uso racional da água define importante estratégia de gestão. Nesse sentido, governos do mundo inteiro, inclusive do Brasil (Lei Federal 9.433/97), assumindo suas responsabilidades, “vêm adotando procedimentos jurídicos e institucionais consubstanciados em modernas legislações de recursos hídricos, visando ao gerenciamento compartilhado dos aspectos relacionados à oferta e ao uso das águas”. (GOMES & MAGALHÃES, 2004)

No entanto, Meirelles (2009) relata que ainda existem muitas dificuldades para implementação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos previstos por lei, principalmente no caso da agricultura irrigada, pois para uma eficiente utilização destes instrumentos de gestão seriam necessário superar dificuldades como falta de estrutura, de pessoal, recursos financeiros e equipamentos por parte do Estado. Meirelles ainda inclui nas dificuldades de adoção dos instrumentos de gestão, a falta de Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas e também as ainda inexistentes Agências de Região Hidrográfica, fatores que podem ser devidos ao tamanho e dispersão das áreas irrigadas no estado.

O gerenciamento de recursos hídricos visa harmonizar e solucionar conflitos resultantes do uso intensivo da água, sendo a outorga de direito de uso da água o principal instrumento de gestão dos recursos hídricos, que consiste na licença emitida pelo Estado para que o usuário possa utilizar volume de água para atender suas necessidades (Cruz e Silveira 2007).

A outorga do direito de uso da água é um instituto presente na legislação brasileira desde 1934, com a edição do código de águas (BRASIL, 1934). Para implantação da outorga como instrumento de sustentabilidade hídrica, é necessário

realizar um balanço hídrico global da bacia, assim gerenciando as disponibilidades hídricas com as necessidades de uso e a demanda da sociedade. (UFSM/FINEP, 2005)

Para Cruz e Silveira (2007), a outorga tem o objetivo de racionalizar o uso das águas, evitando assim situações de conflito, e constitui-se em etapa indispensável para a operação do sistema de gestão de recursos hídricos, conforme estabelece a legislação brasileira (9.433/97) e do Rio Grande do Sul (10.350/94).

No caso da outorga de direito de uso das águas para irrigação de lavouras de arroz, o grande problema a ser resolvido é como será feita a fiscalização do uso da água e como poderá ser feita a medição dos volumes utilizados de forma satisfatória. Isto, para que possam ser conferidos os valores outorgados com os realmente utilizados nas lavouras pelos produtores durante a irrigação. (UFSM/FINEP, 2005)

1.1 Justificativa

Devido aos diversos fatores intervenientes na quantidade total de água necessária para o cultivo de arroz irrigado, muitos autores testaram variadas metodologias para estimar a real quantidade de água utilizada no processo produtivo do arroz.

As variações nas metodologias e as dificuldades na determinação dos volumes de água de irrigação se devem principalmente ao sistema de irrigação, que na maioria dos casos ocorre por meio de canais irregulares de terra. Estes canais de irrigação têm como principais características dimensões e declividades variadas, bem como altas quantidades de partículas e sedimentos em suspensão, o que dificulta a utilização de equipamentos muito sensíveis.

Meirelles (2009) define os canais de irrigação das lavouras orizícolas do estado do Rio Grande do Sul como formados em sua maioria por canais de terra não revestidos, e sem a presença de estruturas medidoras de água. Ainda Meirelles salienta que este tipo de sistema de irrigação apresenta tomadas de água bastante rústicas, sem um padrão definido, que aliado às oscilações do nível de água nos

canais de distribuição, acarretam em “uma dificuldade da determinação ao menos aproximada do consumo de água”.

Além das dificuldades de medição em sistemas de irrigação, características naturais dos canais de terra como a variação das características de rugosidade e da geometria dos canais ao longo do tempo devido a escorregamentos de taludes, crescimento de vegetação no interior do canal e os processos erosivos, acabam alterando as condições de escoamento no canal e restringindo ainda mais o uso de sistemas de monitoramento de água. Outros fatores ainda são responsáveis pelas dificuldades de medição em canais de irrigação, como o custo e a fragilidade de equipamentos eletrônicos, a falta de precisão em instalações mais rústicas ou também a variação excessiva no comportamento hidráulico dos canais. (MEIRELLES, 2009)

Mesmo considerando a grande dificuldade de medição de vazões e volumes em canais de irrigação, Meirelles (2009) aponta que no caso de Outorga e Cobrança pelo uso da água, estes devem ser realizados baseados em volume de irrigação, e não com outros critérios, como por exemplo, com a área irrigada. O autor explica que a utilização de área irrigada para critérios de outorga levaria a adoção de volumes muito maiores que os necessários, pois nesta situação, não estariam sendo contabilizadas as perdas em canais não revestidos e as perdas nas diferentes condições de cada lavoura.

De mesma forma, Arrojo (2000, apud Meirelles 2009) cita que os projetos de irrigação realizados por meio da utilização de águas superficiais são baseados no critério de área irrigada, e não com o volume realmente utilizado, o que segundo o autor juntamente com os baixos preços cobrados, acarreta em uma menor eficiência do uso da água. Para o autor, existe a necessidade de uma reformulação das propostas de outorga e cobrança baseadas no critério de hectares irrigados para o critério de volume (m³) utilizado, a fim de proporcionar uma maior eficiência no uso da água.

No entanto, os resultados verificados na literatura demonstram uma diferença significativa nos valores finais de volume utilizado nas lavouras orizícolas em diferentes pesquisas. Esta variação de resultados do monitoramento de águas de irrigação pode ser considerada tanto devido a erros em sistemas de medição, quanto à necessidade de maior ou menor quantidade de água em diferentes lavouras.

A considerar, Gomes e Magalhães (2004), que encontraram valores médios de 12.000 m³/ha/ano para 80 a 100 dias de cultivo, garantindo serem as lavouras orizícolas as maiores usuárias dos recursos hídricos.

Sachet (1977) apresenta resultados obtidos na Estação Experimental do Arroz do IRGA, Cachoeirinha/RS. Os experimentos contemplaram a irrigação com permanente circulação da água, água estagnada e saturação do solo com lâmina superficial praticamente nula. Em um período de 104 dias, foram medidos consumos médios de 17.972m³/ha, 8.639m³/ha e 6.497m³/ha, respectivamente.

Porém, existem estudos que comprovam consumos menores. Para Motta et al. (1990 apud Marcolin et al. 2005), já relatavam que a evapotranspiração do arroz no Rio Grande do Sul com período de irrigação de 90 dias é em média, 6.120 a 7.740 m³/ha.ano. Portanto, o volume total corresponderia a vazões de 1,12 a 1,42 L s⁻¹ ha⁻¹, ou seja, 9.000 a 12.000 m³/ha/ano, podendo variar de acordo com a localidade e tipo de solo.

Têm-se também estudos realizados por Hernandez et al. (1997) em área da UFSM, Santa Maria/RS, onde foram realizados experimentos variando a época de início da irrigação, o sistema de preparo do solo e o nível de controle de plantas invasoras. No sistema convencional com inundação contínua, foram medidos consumos de 6.512 m³/ha e 6.263 m³/ha, com a irrigação iniciando respectivamente 15 e 30 dias após a emergência.

Machado et al (2006) apresenta resultados obtidos através do monitoramento com hidrômetros, em que a água utilizada foi conduzida por tubulações fechadas e pressurizada com auxílio de uma motobomba, onde foram monitoradas parcelas de 160m² com lâmina de água constante de no máximo 10 cm. Para este experimento, foram encontrados valores de irrigação variando de 5.431 a 6.422 e de 5.374 a 5.852 m³/ha, respectivamente nas safras de 2000/2001 e 2001/2002.

Marcolin e Macedo (2001) monitoraram durante cinco anos consecutivos (safras de 1996/97 a 2000/01) o volume de água necessário ao cultivo de arroz irrigado em três parcelas de arroz irrigado, com Sistema de cultivo Convencional, Plantio Direto e Pré-germinado, todas com irrigação por inundação permanente. Cada parcela possuía dimensões de 28 x 40 m (1.120 m²), e a determinação do volume de água de irrigação foi realizada de maneira direta, através da utilização de hidrômetros instalados entre a fonte de água e a área experimental, sendo a água aduzida por gravidade para as parcelas. Os volumes médios das cinco safras

monitoradas foram de 7.856, 7.145 e 6.271 m³/ha para as parcelas com plantio Convencional, plantio Direto e plantio Pré-Germinado respectivamente.

Marcolin et al. (2005) em estudo de monitoramento da quantidade de água variando o período de início de irrigação, simularam três tratamentos de irrigação, com inundação no estágio V3 (3 folhas) (14 dias após a emergência = dae); estágio V4 (24 dae) e V5 (35 dae). Em todas as parcelas (com áreas de 220m²) o monitoramento da água de irrigação ocorreu através de um hidrômetro instalado no canal entre a fonte de água e a área experimental, sendo a água aduzida por gravidade para as parcelas. Os volumes totais, somatório da irrigação com a precipitação, encontrados por Marcolin foram 8.754, 7.894 e 8.337 m³/ha respectivamente para os estádios V3, V4 e V5.

Novamente Marcolin et al. (2007) estimaram o volume total de irrigação necessário a duas parcelas de arroz irrigado com áreas de 2,82 e 5,74 ha no municípios de Camaquã e Santo Antônio da Patrulha respectivamente. No município de Camaquã o volume de 7.706 m³/ha foi obtido através do monitoramento de uma comporta com dimensões conhecidas, e com o auxílio de um linígrafo que media a oscilação do nível de água no canal. Já no município de Santo Antonio da Patrulha, o volume de 8.606 m³/ha foi monitorado através da utilização de um hidrômetro instalado entre o canal de irrigação e a lavoura, que captava e distribuía água por gravidade e em canais abertos de irrigação.

Resultados obtidos por Meirelles (2009), através do monitoramento do Arroio Chasqueiro no RS, onde monitorou um sistema coletivo de irrigação em canais não revestidos, encontrando valores médios de volume variando de 10.456,14 a 11.651,66 m³/ha, bem como valores médios de vazão de irrigação de 1,182 l/s.ha. No entanto, o autor ainda afirma que os valores de vazão específica máxima encontradas por ele, de aproximadamente 1,8 l/s.ha “poderiam ser adotadas como critério para dimensionamento dos canais, mas não como critérios de gestão”. Nestes resultados obtidos pelo autor, foram também consideradas as perdas na condução da água nos canais de irrigação.

Um exemplo de estimativa de volume total necessário para irrigação foi apresentado por Cauduro (1996, apud Righes 2000), onde fatores como os apresentados na tabela 1 a seguir, estimaram como necessário um volume aproximado de 11.513 m³/ha.

Tabela 1 - Estimativa de Volume de água para lavouras orizícolas.

Parcelas de Consumo	Consumo (m³/ha.safra)	Consumo (%)
Saturação do Perfil	900	8,0
Formação de Lâmina	1.000	8,5
Evapotranspiração	5.500	48,0
Percolação	4.020	35,0
Infiltração Lateral	43	0,5
TOTAL	11.513	100,0

Fonte: Righes, 2000.

Uma alternativa para o órgão gestor estimar o consumo de água foi aplicado nos estudos anteriores na bacia do rio Santa Maria (UFSM/SEMA, 2003) e na bacia do Ibicuí (UFSM/FINEP, 2005). Esta alternativa, adotada pelo órgão gestor, consistiu em classificar cada empreendimento por tipo de solo e adotar um valor estimado por hectare em função de cada tipo de solo.

Os valores obtidos para as bacias do Rio Santa Maria e do Rio Ibicuí, podem ser verificados segundo tabela 2 e tabela 3, respectivamente.

Tabela 2 - Consumo anual de água por lavoura de arroz irrigado em área não sistematizada por classe textural de solos.

Classe textural de solo	Consumo de água (m³/ha.safra)
Solos arenosos	10.500
Solos mistos	9.500
Solos argilosos	8.500

Fonte: UFSM/SEMA, 2003.

Tabela 3 - Consumo de água pela lavoura orizícola de acordo com o tipo de solos da bacia hidrográfica do rio Ibicuí.

Unidade de solos	Estimativa de consumo m³/ha.safra
Escobar	9.000
Uruguaiana	9.000
Vacacaí	11.000
Virgínia	8.000
Ibicuí	12.200
Banhado	8.000

Fonte: UFSM, FINEP, 2005.

Esta alternativa é viável na fase de planejamento, pois permite avaliar uma ordem de grandeza das demandas da lavoura. Porém, o real consumo depende muito dos sistemas de cultivo, dos sistemas de manejo da água, e também das técnicas de preparo do solo que estão sendo utilizadas.

Portanto devido à grande diferença de valores verificados na literatura, a realização de uma efetiva fiscalização do uso da água em lavouras orizícolas consiste em um grande desafio para os órgãos gestores. “Implantar a outorga e não ter como fiscalizar as quantidades realmente utilizadas poderá colocar em descrédito todo o sistema de gestão de recursos hídricos”. (UFSM/FINEP, 2005)

Uma campanha de medição de vazões em lavouras orizícolas é demorada e cara. Considerando que muitas lavouras possuem mais de uma entrada de água e também diferentes saídas, as medições a serem feitas pelo órgão fiscalizador seriam de um valor insustentável para o sistema. Além disso, o órgão gestor possui reduzida infra-estrutura para exercer essa atividade, já que o número de empreendimentos é extremamente elevado. (UFSM/FINEP, 2007)

Meirelles (2009) verificou que os projetos públicos de gestão de sistemas coletivos de monitoramento de água do Rio Grande do Sul são inadequados a um manejo otimizado da água de irrigação, devido à falta de medições e de controle de vazões, bem como da dificuldade da alteração e substituição das estruturas já existentes. O autor ainda recomenda em seu estudo, que sejam realizados novos estudos para concepção de novas estruturas e novas práticas de gestão, para que

desta maneira, obtenha-se um maior controle e uma maior eficiência no sistema de monitoramento.

Nos locais onde existem conflitos pelo uso da água, e, portanto há necessidade dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água, o monitoramento dos volumes de irrigação deve ocorrer de forma mais precisa possível. Além de resultados precisos, o monitoramento deve ser fácil de ser realizado por parte dos produtores e/ou pelos órgãos gestores dos recursos hídricos. (LORENSI, 2008)

Uma forma para a fiscalização desse volume de água concedido (outorgado) ao agricultor pode ser viabilizada com a implantação de um sistema em que os próprios produtores possam monitorar o quanto utilizam de água, ou seja, eles realizariam o automonitoramento da irrigação.

O automonitoramento aplicado à outorga de recursos hídricos é uma forma de autodeclaração do usuário da água, que monitora e fornece dados da quantidade de água utilizada na sua propriedade ou no seu empreendimento, formando assim uma consciência de racionalização. Este sistema permitiria a construção de um banco de dados importante para o balanço hídrico do consumo mais próximo da realidade. (LORENSI, 2008)

Um exemplo de automonitoramento é o que ocorre no Estado do Rio Grande do Sul que iniciou o controle ambiental em 1974 através do Núcleo de Controle da Poluição. A Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente – FEPAM, órgão da Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA é a responsável por esta fiscalização. Desde 1985 é realizada a fiscalização dos sistemas de tratamento de efluentes industriais de maior potencial de poluidor, através do Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos – SISAUTO.

Esta fiscalização é realizada através do acompanhamento periódico das características dos efluentes líquidos gerados por indústrias cadastradas neste sistema. Ao se cadastrarem no SISAUTO as empresas passam a encaminhar a FEPAM, planilhas com os resultados das análises físico-químicas e biológicas. A FEPAM, através do seu laboratório, realiza avaliações periódicas dos efluentes destas empresas, a fim de conferir os resultados enviados pelas mesmas.

Entretanto, para a plena viabilização do sistema de automonitoramento em lavouras orizícolas, é necessário um estudo aprofundado das técnicas de medição de vazão, compatíveis com a realidade dos produtores, de maneira a se obter

metodologias de fácil entendimento e fácil aplicação, e que seja também economicamente viável de ser utilizada em larga escala.

Neste estudo serão testados comparativamente dois sistemas hidráulicos, Vertedores de Parede Delgada e Hidrômetros Velocimétricos, medidores de vazão e volume respectivamente. Estes sistemas foram escolhidos devido a já terem sido utilizados em outras pesquisas para determinação de volumes de irrigação em lavouras orizícolas.

O vertedor consiste de uma chapa de aço, na qual é realizada uma abertura no formato desejado e com dimensões conhecidas, pelo qual a água verterà. Essa é uma maneira bem simplificada de fazer a medição tanto em canais não estáveis quanto em canais estáveis, sendo que este tipo de estrutura é de baixo custo e não necessita de muita instrução para o seu manuseio. Portanto é uma alternativa robusta, barata e de fácil gerenciamento.

Este sistema de medição possui fácil implantação e manuseio, o que proporciona ao agricultor baixo investimento e manutenção. Necessitando somente, a anotação diária do nível de água que passa através da estrutura, e também anotação das variações do nível quando este é alterado no decorrer da irrigação.

Segundo Wilson (1911, apud Meirelles 2009) a vazão de projetos de irrigação na Índia era medida através da utilização de vertedores implantados diretamente nos canais, e em aquedutos a vazão era determinada indiretamente com o uso de flutuadores ou também diretamente com vertedores triangulares. Segundo o autor, os vertedores eram considerados o método mais satisfatório de se verificar o volume escoado por um canal, através do monitoramento da vazão passante pelo canal.

Já os hidrômetros ou micromedidores, podem ser definidos conforme NBR 8009/97, sendo “um instrumento destinado a indicar e totalizar, continuamente, o volume de água que o atravessa”.

Segundo Brunelli e Farias (2006) os hidrômetros geralmente são constituídos de “uma câmara de medição, um sistema de transmissão e uma unidade de conversão/totalização” cuja função segundo o autor, é registrar em um mostrador os volumes escoados através do equipamento.

Este tipo de equipamento tem a vantagem de realizar uma medição permanente e direta do volume de água que o atravessa, de maneira que enquanto estiver passando algum fluxo de água por ele, este estará sendo monitorado.

Este tipo de equipamento hidráulico é comumente utilizado para realizar o monitoramento de volumes por companhias de saneamento, as quais monitoram individualmente (micromedição) a quantidade de água fornecida para cada usuário do serviço.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é contribuir para a gestão de recursos hídricos, buscando verificar a viabilidade de utilização de diferentes estruturas hidráulicas (Vertedores e Hidrômetros), medidoras de vazão e volume respectivamente, através do estudo comparativo e simultâneo das estruturas no monitoramento de parcelas de arroz irrigado, utilizando-as como ferramenta de automonitoramento.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Quantificar o volume total necessário para o cultivo de arroz irrigado em cada hectare plantado e monitorado;
- Determinar as diferenças, nos resultados (VOLUME FINAL) monitorados na safra 2009/2010, entre a utilização de Vertedores de Parede Delgada e Hidrômetros Velocimétricos;
- Verificar a viabilidade de implantação, manutenção e operação, dos diferentes sistemas hidráulicos utilizados, em canais de terra, irregulares, em lavouras irrigadas;
- Determinar quais as principais dificuldades na utilização de cada estrutura, neste sistema de monitoramento de vazões, ou seja, no monitoramento de águas de irrigação;
- Testar a utilização de diferentes metodologias de instalação dos hidrômetros, comparando-as e determinando sua importância;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será realizada uma abordagem técnica das estruturas utilizadas no presente estudo. Esta abordagem será referente às características técnicas de cada estrutura, como princípios de funcionamento, metodologias de implantação, monitoramento, faixas de determinação de vazão e volume de cada estrutura e metodologia de determinação de vazões.

Para os sistemas hidráulicos testados, tanto para os vertedores quanto para os hidrômetros, foi realizado um estudo de viabilidade técnica de acordo com as características de cada estrutura. Este estudo foi baseado em revisão da literatura, através da qual foram obtidos parâmetros para escolha e dimensionamento adequado das estruturas, cujos sistemas hidráulicos testados são abordados a seguir.

2.1 Vertedores

Para Porto (2004), um vertedor é um tipo de estrutura hidráulica (dispositivo) que se comporta basicamente como um orifício de grandes dimensões, no qual a passagem da veia líquida na parte superior da estrutura se faz em contato com a atmosfera. Sendo este tipo de estrutura utilizado para medir e/ou controlar vazão de escoamentos em canais.

Os vertedores ainda podem ser definidos como uma barreira inserida perpendicularmente ao fluxo, e que possui uma abertura com forma geométrica característica na parte superior da estrutura. Através desta abertura, de formato e dimensões conhecidos, ocorre escoamento da água, e este através da altura da lâmina de água passante, ou carga(h), é então calculado através de fórmulas específicas o valor da vazão que passa pela estrutura. (PORTO, 2004)

A altura da lâmina de água, ou carga (h), trata-se então da diferença de nível entre a linha de energia a montante e a soleira do vertedor, sendo que em geral, a partir de certa distância a montante da estrutura, a linha de energia coincide praticamente com a superfície livre. (LENCASTRE, 1972)

Conforme Porto (2004), os vertedores podem ser classificados de diferentes maneiras, variando características como as que seguem:

- Forma geométrica dos vertedores, sendo utilizada cada uma de acordo com a necessidade do projeto e das vazões a serem suportadas. As formas geométricas mais comuns utilizadas na abertura dos vertedores são: Triangulares, Retangulares e Trapezoidais.
- Os vertedores podem ser caracterizados também quanto à natureza da parede (soleira do vertedor). Os vertedores podem ser de soleira delgada, quando a espessura da parede for inferior a dois terços da carga hidráulica, ou podem ser caracterizados de soleira espessa, nos outros casos.
- Já caracterizados os vertedores em soleira delgada ou soleira espessa, ainda se pode subdividir estes em vertedores com contração lateral e sem contração lateral. Os vertedores com contração lateral são aqueles que a abertura da estrutura (bocal), possui largura inferior à largura do canal em que está inserido, enquanto que os vertedores sem contração lateral são aqueles que ocupam toda a largura do canal, portanto sem contração ou apresentem pequena contração, inferior a três vezes a carga hidráulica estimada..
- Pode ainda o vertedor ser classificado quanto à altura da soleira, sendo de descarga livre, quando a altura da soleira for superior ao nível de água a jusante da estrutura, ou de descarga submersa, caso contrário.

Lencastre (1972) considera que os vertedores de parede delgada são estruturas hidráulicas utilizadas somente para medição de vazão, enquanto que os vertedores de soleira espessa podem ser utilizados como medidores de vazão ou apenas fazer parte de alguma estrutura hidráulica.

Desta maneira, neste estudo serão apenas analisados os vertedores de parede delgada. A seguir, será então abordado separadamente cada tipo de vertedor, os mais usuais, caracterizando-os e demonstrando seus métodos de dimensionamento e de determinação de vazão.

2.1.1 Vertedor retangular de soleira delgada com contração lateral

Este tipo de estrutura possui como principal característica, e é um dos fatores determinantes na escolha, a precisão de medição de vazões que variam de 30l/s até 300l/s (LENCASTRE, 1972).

Com este tipo de estrutura, pode-se calcular a vazão por meio da fórmula de Francis, conforme a eq. [1], na qual a variável utilizada no cálculo é a carga hidráulica (h), sendo esta a diferença de nível entre a linha de energia a montante e a soleira vertedoura, determinada a montante da estrutura, onde a linha de energia praticamente coincide com a superfície livre da água. O esquema do vertedor retangular é apresentado na figura 1, em uma vista frontal da estrutura (montante para jusante).

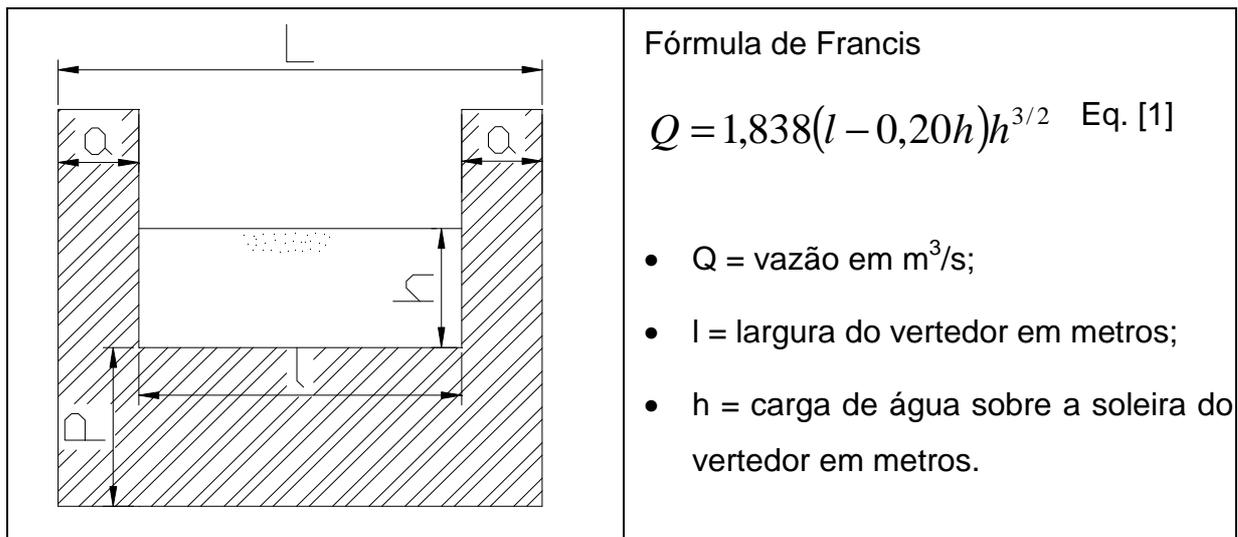


Figura 1 - Croqui - Vertedor Retangular

Para o dimensionamento da estrutura hidráulica (Figura 1), é necessário respeitar alguns critérios técnicos tais como apresentados no Quadro 1:

Quadro 1 - Critérios de dimensionamento – vertedor retangular.

Referência	Critérios de dimensionamento
LENCASTRE, 1972	<ul style="list-style-type: none"> • A largura total mínima do vertedor, para que possua contração lateral, deve ser $L \geq l + 2a$, ou seja, a soma da largura do vertedor (l), com as sobrelarguras laterais; • a sobrelargura (a) do vertedor deve ser pelo menos igual a $3h$, sendo h a carga de água estimada sobre a soleira; • a carga de água (h) deve ser medida a uma distância do vertedor retangular de pelo menos 2,0m para montante;
PORTO, 2004	<ul style="list-style-type: none"> • Para estimativa da largura do vertedor, deve-se dimensionar a largura, geralmente, superior a três vezes a carga hidráulica estimada; • para o vertedor ser de soleira delgada, a espessura da soleira deve ser inferior a dois terços da carga hidráulica ($e < 2/3h$), caso contrário é considerado de parede espessa; • $P \geq 3h$ (P que é a distância do fundo da seção à soleira deve ser superior a três vezes a lâmina de água estimada); • a medida da lamina deve ser feita a uma distância de aproximadamente seis vezes a máxima carga de água esperada; • a fim de evitar que a lâmina de água vertente adira na parede do vertedor, a carga mínima de água deve ser de pelo menos 2,0cm; • quanto às vazões máximas, não são recomendadas cargas altas, superiores a 50 cm;

2.1.2 Vertedor triangular de soleira delgada com contração lateral

Este tipo de vertedor é também uma estrutura de simples utilização, com dimensionamento e operação similar aos vertedores retangulares, diferindo destes principalmente pela precisão de determinação de vazão. O croqui esquemático desta estrutura pode ser visto frontalmente (montante para jusante) na figura 2.

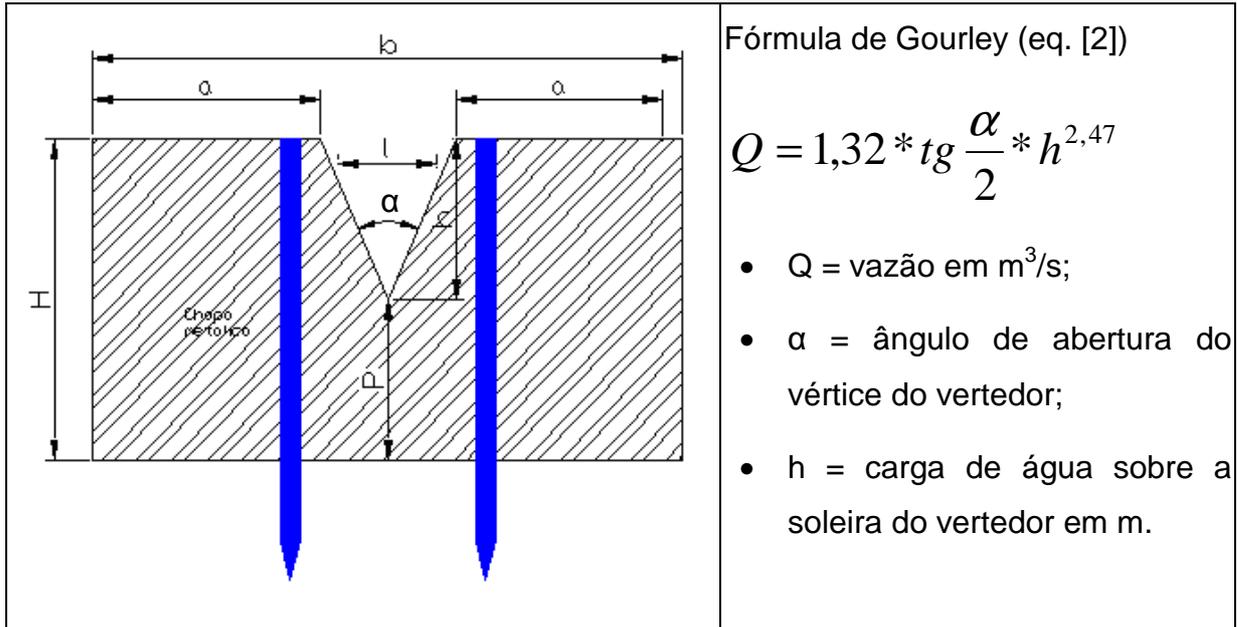


Figura 2 - Croqui - Vertedor Triangular

Os vertedores triangulares têm, portanto uma maior precisão para vazões abaixo dos 30l/s, com cargas hidráulicas compreendidas entre 0,06 e 0,50m. Sendo, desta maneira, um vertedor tão preciso quanto o retangular, que possui maior precisão na faixa de 30 a 300l/s (PORTO, 2004).

O vertedor triangular determina a vazão passante pela estrutura através da Fórmula experimental de Gourley, conforme mostra eq. [2] (Figura 2), na qual a variável utilizada no calculo é carga de água sobre a soleira (h), ou seja, a altura de água passante sobre a soleira (LENCASTRE, 1972).

Para o dimensionamento dos vertedores triangulares, é necessário cumprir os mesmos critérios específicos deste tipo de vertedor, como os que seguem apresentados no Quadro 2:

Quadro 2 - Critérios de dimensionamento – vertedor triangular.

Referência	Critérios de dimensionamento
LENCASTRE, 1972	<ul style="list-style-type: none"> • A largura total mínima do vertedor, para que possua contração lateral, deve ser $L \geq l + 2a$, ou seja, a soma da largura do vertedor (l), com as sobrelarguras laterais; • a sobrelargura (“ombreira”) deve ser maior ou igual a três quartos da largura máxima do vertedor, $a \geq \frac{3}{4} l$; • a carga de água (h) deve ser medida a uma distância do vertedor retangular de pelo menos 2,0m para montante; • pré-análise das prováveis vazões que poderão ocorrer durante a irrigação, pois quanto menor a abertura angular (α) do vertedor, mais preciso ele será para as pequenas vazões.
PORTO, 2004	<ul style="list-style-type: none"> • para o vertedor ser de soleira delgada, a espessura da soleira deve ser inferior a dois terços da carga hidráulica ($e < 2/3h$), caso contrário é considerado de parede espessa; • a largura total do vertedor deve ter um mínimo de $(6.h)$ seis vezes a altura média da lâmina de água estimada • $P \geq 3h$ (P que é a distância do fundo da seção à soleira deve ser superior a três vezes a lâmina de água estimada); • a medida da lamina deve ser feita a uma distância de aproximadamente seis vezes a máxima carga de água esperada; • a carga hidráulica recomendada para os vertedores triangulares deve estar compreendida entre $0,06 \text{ m} \leq h \leq 0,38 \text{ m}$; • a fim de evitar que a lâmina de água vertente adira na parede do vertedor, a carga mínima de água deve ser de pelo menos 2,0cm;

2.1.3 Vertedor trapezoidal de soleira delgada com contração lateral

Os vertedores no formato trapezoidal são menos utilizados para pequenas e médias vazões, não tendo tanto interesse de aplicação quanto os vertedores retangulares e triangulares. Há uma importância, no entanto quanto ao vertedor

trapezoidal do tipo CIPOLETTI, que possui a forma de um trapézio isósceles, conforme figura 3, e “é obtida de maneira que as inclinações laterais compensem a diminuição de vazão devido ao efeito da contração lateral do vertedor retangular de mesma largura de soleira”. (PORTO, 2004 p. 390)

Para que a condição acima exposta ocorra, é necessário que a inclinação das laterais do trapézio do vertedor esteja na proporção de 1H:4V.

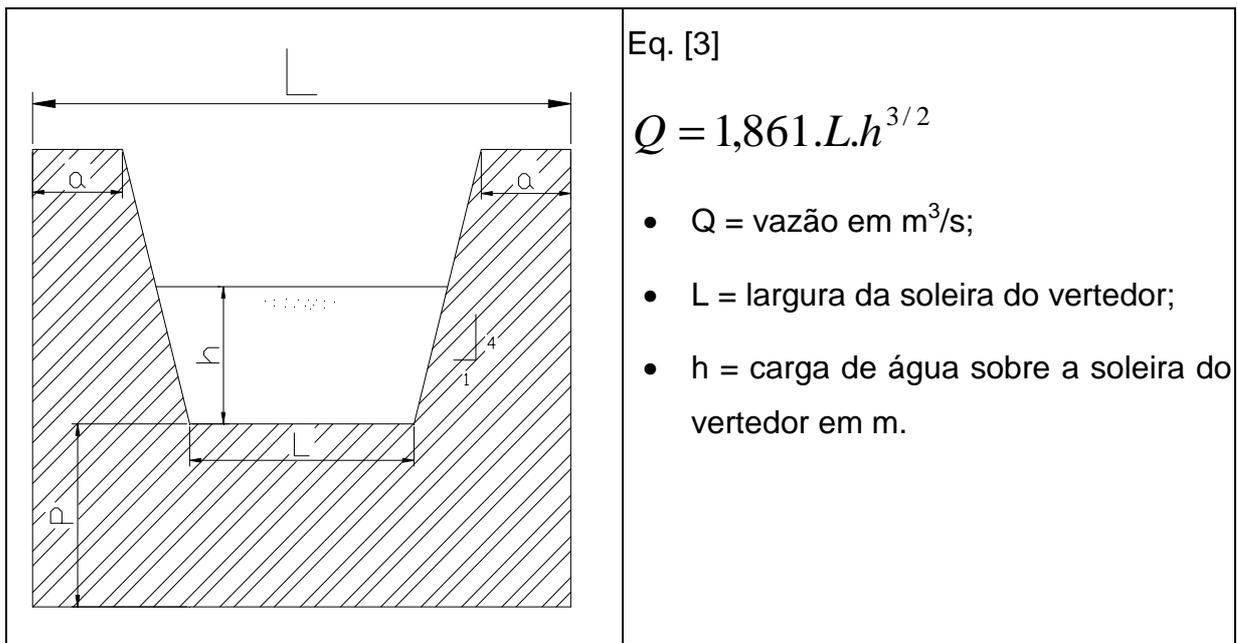


Figura 3 - Vertedor Trapezoidal

Respeitada a condição exposta anteriormente, a determinação da vazão passante por esta estrutura pode ser calculada conforme eq. [3] (Figura 3). (PORTO, 2004)

Q = vazão em m³/s;

L = largura da soleira do vertedor;

h = carga de água sobre a soleira do vertedor em m.

Os critérios de dimensionamento para o vertedor trapezoidal, devem ser considerados conforme quadro 3:

Quadro 3 - Critérios de dimensionamento – vertedor trapezoidal.

Referência	Critérios de dimensionamento
PORTO, 2004	<ul style="list-style-type: none"> • A inclinação das laterais deve estar na proporção de 1H:4V; • estimar que a carga hidráulica permaneça entre $0,08m < h < 0,60m$, para uma maior precisão; • a sobrelargura ($a > 2h$) deve ser maior duas vezes a carga hidráulica (h) média prevista; • a largura L da soleira do vertedor deve ser maior que três vezes a carga (h), ($L > 3h$); • a altura da soleira (P) deve ser maior que três vezes a carga (h), $P > 3h$; • a largura do canal (b) deve estar compreendida entre trinta e sessenta vezes a carga hidráulica h, $30h < b < 60h$.

2.1.4 Vertedor retangular de soleira delgada sem contração lateral

Para Lencastre (1972) este tipo de vertedor, devido ao grande número de observações confere uma boa precisão de determinação de vazões. No entanto, este tipo de estrutura é adequado para grandes vazões, uma vez que ocupa toda a largura do canal no qual está inserida.

Para a correta utilização deste vertedor, alguns critérios técnicos de dimensionamento e instalação devem ser seguidos, e estão apresentados no quadro 4.

Quadro 4 - Critérios de dimensionamento – vertedor retangular sem contração.

Referência	Critérios de dimensionamento
LENCASTRE, 1972	<ul style="list-style-type: none"> • Não deve existir nenhuma contração lateral, desta maneira, a estrutura deve apresentar paredes verticais e bem alisadas, e o comprimento da soleira deve ser exatamente igual à largura do canal; • a ventilação abaixo da lâmina vertente deve ser completa, de maneira a manter a lâmina sempre livre; • a leitura da carga hidráulica (h) deve ser feita a uma distância de pelo menos 5h.
PORTO, 2004	<ul style="list-style-type: none"> • a seção a montante (trecho com pelo menos 20.h) da estrutura deve ter trecho retilíneo e uniforme, para garantir a maior uniformidade possível do escoamento na chegada ao vertedor; • para evitar que a lâmina vertente adira à parede do vertedor, é recomendada uma carga hidráulica mínima de 2cm.

Para determinação da vazão passante por este vertedor, faz-se uso da Equação 4, a seguir apresentada de maneira simplificada por Porto (2004):

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} . L . h^{3/2} \quad [4]$$

Sendo:

Q = vazão em m³/s;

L = Largura do vertedor;

h = carga de água sobre a soleira do vertedor em m;

C_d = Coeficiente de descarga.

Já o coeficiente pode ser obtido mais corriqueiramente segundo coeficiente de Bazin, conforme eq. [5], dada por Porto (2004):

$$C_d = \left(0,6075 + \frac{0,0045}{h} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right] \quad [5]$$

Considerando: $0,08 < h < 0,50\text{m}$ e; $0,20 < P < 2,0\text{m}$.

Sendo:

h = carga de água sobre a soleira do vertedor em m;

P = altura da soleira (em relação ao fundo do canal).

2.2 Hidrômetros

Conforme NBR 8009/97 um hidrômetro pode ser caracterizado como sendo um “instrumento destinado a indicar e totalizar, continuamente, o volume de água que o atravessa”. Para Silva (2008), é utilizado principalmente para cobrança de água, pois se trata de um instrumento utilizado amplamente para realização de micromedição, a qual pode ser entendida como a medição do volume de água consumido pelos clientes de companhias de saneamento, independente de sua categoria ou faixa de consumo.

Os hidrômetros podem ser classificados através de duas características principais: princípio de funcionamento e capacidade de medição ou classe metrológica.

2.2.1 Princípio de Funcionamento

Dentre os diferentes princípios de funcionamento estão os hidrômetros do tipo VOLUMÉTRICO e os do tipo TAQUIMÉTRICO ou VELOCIMÉTRICO, sendo que essas diferentes características de funcionamento têm interferência direta tanto na precisão e custo dos hidrômetros quanto na vida útil dos mesmos.

- Hidrômetro Volumétrico:

O funcionamento deste hidrômetro ocorre por meio do enchimento de uma pequena câmara cilíndrica, de volume definido e uma peça móvel (pistão, também

chamado de êmbolo, ou um disco), e cuja passagem da água provoca um movimento a cada enchimento. Este movimento é transmitido ao trem redutor de engrenagens e assim indica o volume de água que passou pelo hidrômetro, já que o número de oscilações ou voltas do êmbolo é proporcional ao volume escoado através do medidor. (NIELSEN 2003 apud SILVA, 2008)

Hidrômetros volumétricos costumam ser mais precisos que os velocimétricos ou taquimétricos, segundo Alves et al.(2004), tendo como principal característica o funcionamento eficiente em vazões baixas, sendo que um hidrômetro volumétrico de vazão nominal (Q_n) igual a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ atinge o início de funcionamento com $0,001 \text{ m}^3/\text{h}$. Sua forma construtiva, contudo, faz com que também sejam mais sujeitos a defeitos de funcionamento.

A existência de impurezas na água, como areia em suspensão, pode ser responsável pelo travamento do hidrômetro, o que exigiria uma grande agilidade para a manutenção, sob pena dos consumidores sofrerem com constantes falta de água. Além de que um custo mais elevado e maior perda de carga também fazem com que esse tipo de hidrômetro seja pouco utilizado.

Contudo, em condições favoráveis de funcionamento, esses medidores são mais duráveis e apresentam maior exatidão, além de ficarem menos sujeitos a problemas de instalação, pois a posição de montagem não é tão importante quanto nos medidores velocimétricos. É possível, por exemplo, a utilização de filtros a montante do hidrômetro, evitando-se assim o travamento por matéria em suspensão. (SILVA, 2008)

- **Hidrômetro Taquimétrico Ou Velocimétrico:**

Segundo a NBR NM 212 (ABNT), o hidrômetro tipo turbina ou de velocidade é um “instrumento instalado num conduto fechado, que consiste de um elemento móvel acionado diretamente pela velocidade do fluxo de água, cujo movimento é transmitido por meios mecânicos ou outros, ao dispositivo indicador”. A parte móvel pode ser uma palheta, uma turbina, ou hélice.

Os hidrômetros velocimétricos têm como princípio de funcionamento a contagem do número de revoluções da turbina ou hélice para obtenção do volume, que é feito de forma indireta, de acordo com uma correlação baseada na aferição do hidrômetro, o número de revoluções da turbina é registrada em um dispositivo totalizador. (CARVALHO, 2010)

Podem ainda ser do tipo Monojato ou Multijatos. Os hidrômetros Velocimétricos Monojato são os que apresentam um único jato tangencial incidindo diretamente sobre o componente móvel e assim aciona o mecanismo medidor. Este tipo de hidrômetro, devido a sua concepção, em geral, são mais sensíveis e sofrem mais com variações de pressões que os hidrômetros Multijatos, que em geral são mais resistentes e mais duráveis. Sendo que este último tem seu funcionamento através do acionamento da turbina por vários jatos tangenciais a mesma. (SILVA, 2008)

A passagem da água através do hidrômetro Velocimétrico faz então girar o mecanismo móvel, que em geral é uma turbina, com velocidade proporcional à vazão, e o número de voltas desse mecanismo indica a velocidade de escoamento da água, que indiretamente calcula e apresenta o volume total que passou pelo equipamento. (SILVA, 2008)

2.2.2 Classe Metrológica

A classificação dos Hidrômetros quanto a classe Metrológica pode ser dada conforme Norma ISO 4064 em A, B, C e D. No entanto, a NBR 212/99 define apenas as Classes A, B e C, considerando que a classe D se aplica a Hidrômetros Volumétricos, que são pouco utilizados no Brasil.

A classe Metrológica dos Hidrômetros indica o grau de precisão na medição. Sendo que os hidrômetros de Classe “A” apresentam menor precisão, enquanto que os de Classe “B” e “C” apresentam maior precisão, ou seja, a precisão dos hidrômetros aumenta da classe “A” para a “B” e assim sucessivamente. Desta maneira, cada uma das classes define, para cada faixa de vazão nominal, qual a vazão mínima e qual a vazão de transição que o hidrômetro deve ser capaz de medir, com erros máximos admissíveis estabelecidos por normas técnicas.

2.2.3 Erros de Medição com Hidrômetros

Equipamentos e estruturas hidráulicas medidoras de volume e/ou vazão de água, sempre apresentarão alguma diferença do resultado final determinado em relação ao real. Ou seja, a utilização de equipamentos para medir vazão sempre apresentará erros, sendo que estes erros serão maiores ou menores de acordo com a tecnologia empregada. (SILVA, 2008)

Ainda conforme Silva (2008), os principais fatores intervenientes na precisão dos equipamentos medidores como hidrômetros são: características construtivas e o princípio de funcionamento, que se refere à diferença de precisão entre hidrômetros Velocimétricos e os Volumétricos; posição de montagem; influencia de sólidos em suspensão e depositados; e no caso de instalações prediais, o uso de caixas de água controladas por bóias, que geram pequenas vazões e fazem com que os hidrômetros trabalhem em faixas de vazões abaixo de valores para os quais estão dimensionados.

A perda de exatidão na medição em hidrômetros pode também ser causada pelo desgaste do hidrômetro, seja pelo tempo de instalação ou por excessivos volumes registrados. Estes fatores podem estar aliados à qualidade da água, ambiente de instalação, ou posição de montagem que danifica os mancais, bem como a existência de muito ar na “rede”, provocando aumento na rotação do mecanismo de medição (sobremedição). (BRUNELLI e FARIAS, 2006)

Uma das mais freqüentes inconformidades quando se analisa qualidade na medição é a chamada submedição. Esse fenômeno ocorre quando o hidrômetro mede valores com indicações inferiores às reais ou está parado. A maioria dos erros constatados com a medição através de hidrômetros refere-se, em quase totalidade, a medições inferiores de volumes do que os reais, ou seja, os hidrômetros realizam uma submedição dos volumes de água. (BRUNELLI e FARIAS, 2006)

Os erros por submedição de água pelos hidrômetros são um problema devido a diversos fatores que interferem tanto isoladamente quanto em conjunto. Este tipo de medição inferior ao real é o maior problema encontrado pelas empresas de abastecimento de água, uma vez que erros por submedição levam a perdas de faturamento que segundo Brunelli e Farias (2006) chegam a 40%, e erros de

submedição individual pelos hidrômetros que podem alcançar 80% do volume medido.

Sendo a submedição realizada pelos hidrômetros um fator preocupante quanto aos reais valores de medição, este fator será mais bem analisado a seguir em item específico.

- Erros de Submedição

Segundo Nielsen et al. (2003 apud Silva, 2008), a submedição ocorrida por alguns hidrômetros significa uma situação de medição ineficaz, que pode ser causada principalmente pelo super dimensionamento de um medidor, ou por fator externo ao mesmo, provocando perda de sensibilidade e conseqüente totalizando um menor de volume do que aquele que realmente escoou”.

Para Brunelli e Farias (2006), a submedição além de interferir nos indicadores de perdas, causa uma redução significativa no faturamento das companhias, pois apesar da água estar sendo fornecida ao usuário, em função desta medição incorreta, parte da água que passa pelo hidrômetro não será contabilizada.

Diversas são as causas recorrentes da submedição em hidrômetros. Dentre as principais, Brunelli e Farias (2006) destacam as seguintes:

- Características dos medidores – tipo, modelo, classes de vazões, classes metrológicas;
- Desgaste natural dos mecanismos internos: o hidrômetro como mecanismo dotado de componentes mecânicos, com o tempo e conseqüente uso, acaba por sofrer com o desgaste de seus componentes;
- Exposição a altas pressões: a ocorrência de pressões acima das normatizadas contribui para o desgaste prematuro dos componentes internos dos medidores e em casos mais extremos podem causar até a condenação do medidor devido a vazamento em seu corpo;
- Instalação inadequada dos medidores: os hidrômetros normalmente são instalados desprotegidos e muitas vezes fora da posição correta de instalação, isto é, inclinados;
- Dimensionamento incorreto: os hidrômetros submetidos à operação fora da sua faixa de trabalho podem apresentar menor sensibilidade na medição, tanto no caso de superdimensionamento, quando o medidor não é capaz de sensibilizar-se

com as pequenas vazões, quanto no caso de subdimensionamento onde certamente ocorrerá desgaste prematuro do medidor;

- Incrustações: diversas substâncias presentes na água tendem a incrustar dentro do hidrômetro, no mecanismo móvel interno, prejudicando e alterando assim, seu bom funcionamento;
- Sólidos em suspensão: os hidrômetros podem apresentar problemas principalmente quanto aos sólidos em suspensão, que com o tempo acabam por diminuir a sensibilidade do medidor em regimes de baixas vazões ou mesmo por impedir o movimento de rotação da turbina.

Outra ocorrência freqüente, quando há um reparo na rede pública de abastecimento, é a entrada de corpos estranhos na tubulação (terra, pedregulhos e folhas de vegetais) que entopem os filtros ou são retidos no próprio rotor, impedindo o seu funcionamento adequado ou mesmo comprometendo a alimentação do imóvel. (BRUNELLI e FARIAS, 2006)

Também para Silva (2008) um fator de suma importância na qualidade da medição por hidrômetros é a qualidade da água que o atravessa. Esta pode afetar sensivelmente os medidores caso haja partículas que se depositem no mecanismo de medição do hidrômetro e sólidos em suspensão na água, sendo que os efeitos decorrentes variam de acordo com o modelo e o tipo de medidor.

No caso da deposição de sedimentos, inicialmente a maioria dos medidores tendem a indicar sobremedição em médias e altas vazões e submedições em baixas vazões. Com o aumento de material depositado, cria-se resistência ao movimento das engrenagens, e todas as vazões podem passar a ser submedidas.

Mello (2000) observou que a deposição de um micropó nos hidrômetros utilizados em sua pesquisa, provocou a sobremedição registrada durante o levantamento da curva de erros dos hidrômetros usados no experimento. Após a lavagem das partes internas dos hidrômetros e remoção da camada aderida, novas curvas de erros foram levantadas e mostraram que a medição voltou aos padrões normais, mantendo apenas a submedição, com algumas alterações, provocada pela inclinação dos hidrômetros.

No caso dos medidores volumétricos, pode haver obstrução do filtro interno, o que prejudicará muito a medição, além de uma possível obstrução e travamento do hidrômetro.

- Perdas devido à inclinação dos hidrômetros

Segundo Brunelli e Farias (2006) um dos fatores de grande importância para o bom desempenho metrológico do hidrômetro é a correta posição de instalação, pois trabalhando fora da condição para qual foi projetado a precisão é afetada e a sua durabilidade é comprometida.

A posição usual de instalação é em tubulação horizontal, adequadamente nivelado e com a relojoaria voltada para cima, mas, em função de aspectos construtivos e do desconhecimento ou despreparo dos instaladores, alguns hidrômetros podem ser instalados fora da posição tradicional perdendo sensivelmente sua precisão metrológica e ocasionando desgaste prematuro.

O hidrômetro condicionado a posicionamento inclinado e/ou diferente daquele considerado ideal deixa de operar em condições adequadas, fazendo com que diversos componentes internos sofram desgaste, afetando assim sua sensibilidade e por conseqüência sua precisão metrológica aumentando significativamente a perda por submedição. (BRUNELLI e FARIAS, 2006)

Rizzo et al. (2004), afirmam também que o posicionamento de montagem dos medidores pode afetar muito o seu desempenho e reduzir sua vida útil. Sendo que a existência de curvas ou outras conexões que provoquem turbulências no fluxo de água, a montante do medidor, podem afetar seu funcionamento, devendo-se sempre garantir uma distância que mantenha um nível de turbulência que não afete o funcionamento do medidor.

Alves et al. (2004) de mesma maneira verificaram que os medidores de turbina tem seu funcionamento prejudicado quando trabalham inclinados, e os que são preparados para funcionar na posição vertical não estão normalizados. Assim, apenas os medidores volumétricos são indicados para esta finalidade, enquanto os hidrômetros com totalizadores inclinados têm sido considerados boa ferramenta contra a submedição, por evitarem que os leituristas inclinem os hidrômetros para facilitar a leitura.

- Curva de Erros dos Hidrômetros

Tanto para a classificação dos hidrômetros nas devidas classes metrológicas quanto para tolerância de erros segundo normas, existem quatro valores de vazão que são considerados, sendo eles: vazão máxima, vazão mínima, vazão nominal e a

vazão de transição, e serão abordados a seguir baseado na nomenclatura e definições presentes na Portaria 246/2000 do INMETRO.

- Vazão máxima (Q_{max}) – refere-se a maior vazão, em m^3/h , na qual o hidrômetro trabalha por um curto período de tempo, dentro dos erros máximos admissíveis, mantendo seu desempenho metrológico e sem se danificar. Esta vazão não deve ser confundida com a capacidade máxima do hidrômetro, pois, o funcionamento por tempo prolongado sob essa condição acarreta em desgastes e mau funcionamento do equipamento.

- Vazão nominal (Q_n) – é considerada a maior vazão nas condições de utilização, expressa em m^3/h , nas quais o hidrômetro é exigido para funcionar de maneira satisfatória dentro dos limites de erros admissíveis.

Para Carvalho (2010) a vazão nominal é também a vazão a ser adotada no cálculo para a escolha correta de um hidrômetro.

- Vazão de transição (Q_t) – vazão, em escoamento uniforme, que define os campos de medição inferior e superior. Estes campos, ou faixas de medição são utilizados como parâmetros para que se possam determinar os erros admissíveis de um hidrômetro.

- Vazão mínima (Q_{min}) – é a menor vazão, em m^3/h , a partir da qual o hidrômetro deve medir com erros admissíveis de acordo com as normas ou legislação.

A vazão mínima é também o limite inferior de vazão, no qual o hidrômetro ainda consegue ter precisão na sua leitura com valores de erros admissíveis. É exatamente a vazão mínima de um hidrômetro que difere as classes A, B e C e esta precisão está correlacionado com o valor da vazão nominal. (CARVALHO, 2010)

O início do movimento do hidrômetro geralmente se dá abaixo da vazão mínima, e é caracterizado pelo vencimento das resistências do mecanismo medidor, sem, no entanto apresentar vazão que possa ser medida dentro da faixa de erros toleráveis. (SILVA, 2008).

O gráfico com a curva de erros padrão para hidrômetros novos, segundo portaria do INMETRO, pode ser verificado a seguir (Figura 4), bem como através dela pode ser visto graficamente os erros toleráveis e as referentes vazões, anteriormente citadas.

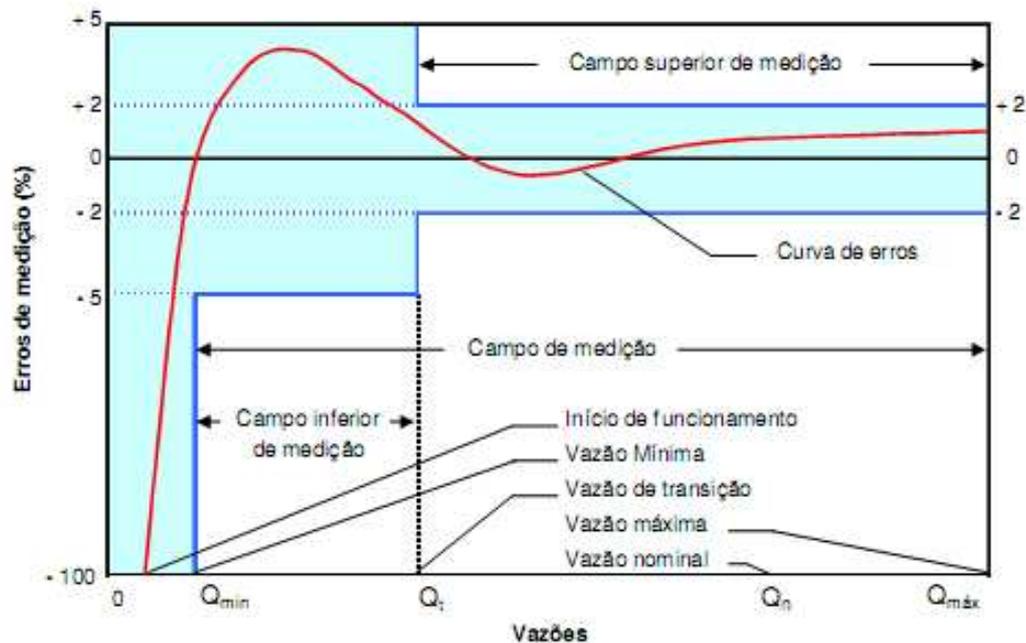


Figura 4 - Curva de Erros Padrão para Hidrômetros novos.

(Fonte: BRUNELLI e FARIAS, 2006)

Através do gráfico da curva de erros (Figura 4), pode-se verificar que a tolerância de erros ocorre até uma margem de 5%, que ocorre principalmente entre as vazões mínimas e as vazões de transição, sendo que valores de vazões abaixo das mínimas remetem a um mau funcionamento dos hidrômetros ou ao mau dimensionamento destes, não devendo, portanto ser utilizados nestas faixas de vazão.

2.3 Arroz Irrigado

Neste item, apresenta-se uma breve revisão das características referentes ao cultivo do arroz irrigado, abordando principalmente as características relevantes a esta pesquisa.

Os sistemas de plantio de arroz, consistem em importante variável influente na quantidade de água utilizada durante o ciclo da lavoura. Os sistemas podem ser classificados como: convencional, plantio direto, cultivo mínimo, pré-germinado e

transplante de mudas, tanto em sistematização do solo em nível como para sistematização em desnível.

O preparo do solo no sistema de plantio convencional é feito com o solo na sua condição natural de umidade, e consiste basicamente em duas fases. A primeira fase visa principalmente à eliminação e/ou enterro da cobertura vegetal, normalmente realizada com arados de disco ou de aiveca e grade aradora. Já na segunda fase, são utilizadas operações mais superficiais realizadas através de grades ou plainas para nivelar, destorroar, destruir crostas superficiais, incorporar agroquímicos e eliminar plantas daninhas no início de seu desenvolvimento, criando assim um ambiente favorável à germinação, emergência e desenvolvimento da cultura implantada. (IRGA, 2002)

Já o sistema de plantio direto é caracterizado pela semeadura em solo não revolvido. Somente é aberta uma cova com profundidade e largura suficientes para garantir uma boa cobertura da semente pelo solo. A principal característica é a manutenção do solo em seu estado natural, sem movimento de suas camadas, evitando a retirada da cobertura vegetal. Este preparo do solo é realizado nos meses de janeiro a março (preparo de verão) e, normalmente, compreende uma aração, duas gradagens e aplainamento. Neste sistema não existe a necessidade de desmanchar por completo os torrões, pois, como a semeadura do arroz é realizada após alguns meses, essa tarefa é completada pelas chuvas de inverno. (IRGA, 2002)

No cultivo mínimo (CM), as operações de preparo do solo são semelhantes às realizadas no PD, diferindo apenas na época de realização, visto que estas ocorrem do final do inverno ao início da primavera, de 60 a 45 dias antes da semeadura. A adoção do cultivo mínimo (CM) na cultura do arroz irrigado tem como objetivo inicial o controle do arroz-vermelho (EMBRAPA, 2005).

O sistema pré-germinado é caracterizado pela semeadura das sementes pré-germinadas, em solos previamente preparados, secos ou com água, a fim de favorecer o processo germinativo e o estabelecimento das plântulas. No preparo do solo, há necessidade da formação de lama, e o nivelamento e o aplainamento são realizados normalmente com o solo inundado (EMBRAPA, 2005).

Também é utilizado na lavoura orizícola o sistema de transplante de mudas. Nesse caso, as plantas inicialmente crescem de 13 a 15 cm em um viveiro e, logo

após, é feito o transplante para a área a ser cultivada. O preparo do solo e o manejo da água são idênticos ao do sistema pré-germinado. O método tem por objetivo principal a obtenção de sementes de alta qualidade. O sistema compreende as fases de produção de mudas e de transplante (EMBRAPA, 2005).

Outra variável que também influencia a quantidade de água na lavoura refere-se as técnicas de preparo da área de plantio que, segundo SOSBAI (2005), há duas modalidades de sistematização para as lavouras de arroz. Uma delas é a sistematização do solo em desnível que é feita normalmente com taipas em curva de nível o qual visa uniformizar o solo transferindo terra das partes mais elevadas para as depressões do terreno. Normalmente a declividade natural do terreno é mantida, podendo-se ajustar o gradiente conforme a necessidade da cultura a ser implantada.

Para a outra modalidade, sistematização do solo em nível, tem sua área subdividida em quadros, no formato retangular, onde o terreno dentro de cada quadro é nivelado em um solo pré-definido utilizando-se o solo das cotas mais elevadas para aterrar os de cotas inferiores.

Nesta pesquisa, foram monitorados somente dois sistemas de plantio, plantio direto e plantio convencional, pois não se objetivou avaliar as diferenças entre estes sistemas e técnicas de preparo, mas sim, avaliar o procedimento de medição de água na lavoura.

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 Caracterização da Área de Estudo

Para a caracterização da área na qual foi realizado o teste experimental, algumas características das parcelas monitoradas foram definidas, principalmente determinadas a campo, e são abordadas conforme segue:

3.1.1 Localização

O estudo experimental foi realizado em lavouras orizícolas no estado do Rio Grande do Sul, em parceria com o Instituto Riograndense do Arroz (IRGA).

As lavouras estudadas estão localizadas na região central do estado do Rio Grande do Sul, no município de Cachoeira do Sul, na área experimental do IRGA, localidade de Capané (Figura 5). Nesta localidade foram monitoradas duas parcelas (Figura 6) de pequeno porte de arroz irrigado, sendo uma com Sistema de Plantio Direto e a outra com sistema de plantio Convencional.

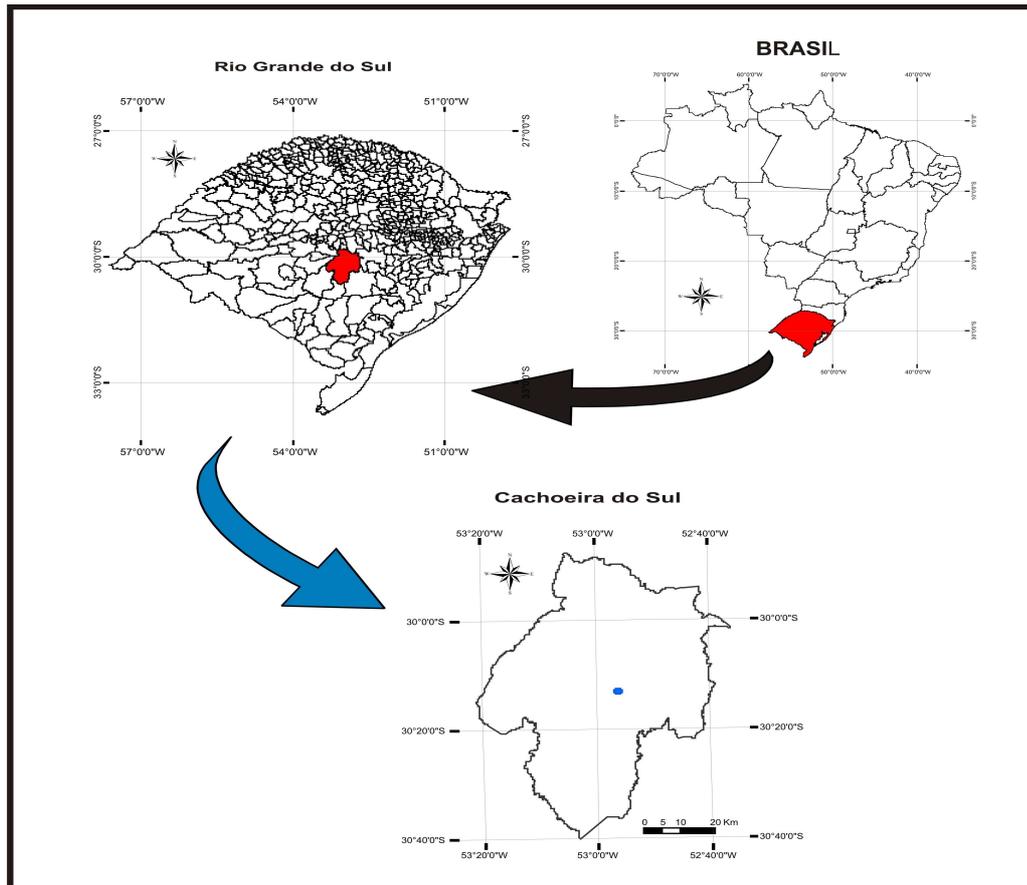


Figura 5 - Localização da área experimental (Cachoeira do Sul).



Figura 6 - Vista da área experimental do IRGA – Localidade de Capané.
Fonte: Imagem Google Earth.

3.1.2 Determinação da Área Total de Cada Parcela

A área de cada parcela foi determinada por meio do aparelho GPSMAP 76CSx como mostra a figura 7 a seguir. O método utilizado para determinação da área das parcelas monitoradas foi o “Método de Caminhamento”.

Este método consiste basicamente em delimitar o perímetro da área desejada. Com o GPS em funcionamento, estipula-se um intervalo de tempo no qual o equipamento fará a leitura da posição geográfica (utilizado cinco segundos). Após a programação do equipamento, é percorrido o perímetro da área desejada, para então ao final do percurso, através das posições marcadas, seja calculada a área interior da figura criada pelos pontos, que necessariamente será um polígono fechado e composto por segmentos de retas.

Concluído o caminhamento no contorno da área que se deseja verificar, se terá através do equipamento GPS, os ângulos e as distâncias entre os pontos determinados durante o percurso. Com estes dados, pode-se calcular a área do polígono, no entanto, este equipamento já possui sistema de cálculo automático, apresentando ao fim do percurso, a área total do polígono criado.



Figura 7 - Aparelho GPSMAP 76 CSx.

Com a utilização do equipamento GPSMAP 76CSx, determinou-se que a parcela com sistema de plantio direto possui área de 0,66ha, enquanto que a parcela com sistema de plantio convencional apresenta área de 0,80ha.

3.1.3 Características das Parcelas

As parcelas selecionadas pertencem a áreas de várzea, ou seja, áreas geralmente alagadas durante o período das enchentes por estarem localizadas as margens de rios, e diferenciam-se entre si quanto ao tipo do solo e ao sistema de plantio.

Neste experimento, as parcelas monitoradas foram trabalhadas com sistema de plantio convencional e plantio direto com preparo do solo em nível. Ainda a classificação do solo da parcela com sistema de plantio convencional é “GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Típico”, enquanto que a parcela com sistema de plantio direto apresenta solo classificado em “PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico Gleissólico” (Acervo GERHI, 2011).

As parcelas monitoradas neste experimento são de acordo com Sosbai (2005) do tipo Sistematizada em Nível, ou seja, toda a área da parcela apresenta o mesmo nivelamento. Com isto, as parcelas também possuem apenas uma saída de água, utilizada como extravasador de água da parcela em períodos críticos, como por exemplo, em chuvas de grande intensidade, evitando assim rompimento da taipa.

O sistema de irrigação em ambas as parcelas é do tipo irrigação por submersão contínua e estática. Este sistema é caracterizado pela manutenção de uma lâmina de água na lavoura. Em ambos os sistemas, plantio convencional e plantio direto, o manejo da água é semelhante, sendo estabelecida uma lâmina de água sobre o solo, normalmente 20 a 35 dias após a emergência das plântulas.

As parcelas monitoradas com plantio convencional e plantio direto podem ser vistas respectivamente na figura 8 e figura 9.



Figura 8 - Vista da parcela com sistema de plantio convencional.



Figura 9 - Vista da parcela com sistema de plantio direto.

3.2 Escolha e Dimensionamento dos Vertedores

Para a escolha e para o pré-dimensionamento das estruturas foi utilizado em cada parcela como parâmetro inicial uma vazão média de irrigação, que neste estudo foi de 2,5 l/s.ha, conforme Marchezam et al. (2005), que considera uma vazão variando entre 1,7 e 3,0 l/s.ha ou 14.700 a 26.000 m³/ha.ano. Este valor adotado foi também baseado na experiência dos produtores e pesquisadores que trabalharam conjuntamente, levando em consideração também que se tratam de parcelas experimentais, e o período de irrigação ocorre somente durante o dia, e não constantemente, necessitando assim vazões superiores as vazões médias de irrigação.

Ainda para o pré-dimensionamento dos vertedores triangulares, foi necessário cumprir critérios técnicos como:

- Pré-análise das prováveis vazões que poderão ocorrer durante a irrigação, pois quanto menor a abertura angular (α) do vertedor, mais preciso ele será para as pequenas vazões;
- A sobrelargura (“ombreira”) deve ser maior ou igual a três quartos da largura máxima do vertedor, $a \geq \frac{3}{4} l$;
- As estruturas dos vertedores devem ter largura e altura suficiente para ser engastados no canal, de maneira a ser estanque a outras passagens de água que não a do vertedor;

Para as duas parcelas monitoradas no município de Cachoeira do Sul, foram selecionados e utilizados vertedores triangulares de soleira delgada com contração lateral. Devido a estas parcelas monitoradas apresentarem áreas de pequeno porte de arroz irrigado, cultivadas experimentalmente, optando-se então pela utilização de vertedores triangulares, pois se tratam de estruturas simples, e recomendada para medição de vazões abaixo dos 30l/s, com cargas hidráulicas compreendidas entre 0,06 e 0,50m. Sendo, portanto, um vertedor tão preciso quanto os retangulares, que possuem maior precisão na faixa de vazões de 30 a 300l/s.

A escolha e o dimensionamento dos vertedores para ambas as parcelas monitoradas neste estudo experimental, ou seja, para a parcela com Plantio Direto e outra com Plantio Convencional, ocorreu da mesma forma, devido a estas parcelas apresentarem áreas semelhantes.

A parcela correspondente ao sistema de Plantio Direto possui área de 0,66ha, enquanto que a parcela com o sistema de plantio convencional apresenta área de 0,80ha, sendo que a partir da determinação das áreas destas parcelas, pôde-se realizar o dimensionamento final dos vertedores, conforme critérios e especificações técnicas vistas anteriormente.

Nestas parcelas, devido à baixa vazão de irrigação necessária e com os critérios de dimensionamento dos vertedores, foi adotado um Vertedor Triangular de Parede Delgada com Contração Lateral, com abertura angular de 45° e altura de 0,25m. Esta estrutura utilizada apresenta precisão de medição de vazão que varia de 0,04l/s a 17,9 l/s (LENCASTRE, 1972). O vertedor utilizado pode ser verificado conforme mostra a figura 10, a seguir.



Figura 10 - Vertedor 45° , Plantio Direto - Cachoeira do Sul.

Já o croqui da figura 11 a seguir, apresenta as dimensões do vertedor utilizado, com abertura angular de 45° , utilizada nas duas parcelas: convencional e plantio direto. Este croqui foi realizado para construção do vertedor.

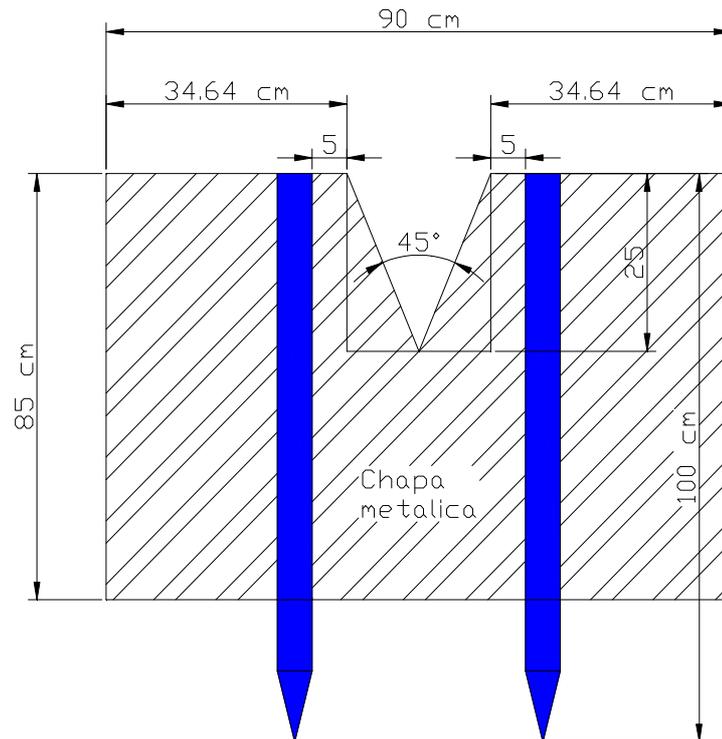


Figura 11 - Croqui do vertedor triangular ($\alpha = 45^\circ$).

3.3 Hidrômetros

O Hidrômetro Velocimétrico (Taquimétrico), foi selecionado para utilização neste experimento por apresentar características mais apropriadas de funcionamento neste meio do que o Hidrômetro Volumétrico, ou seja, em local com grande presença de sedimentos e “sujeira” na água o hidrômetro Velocimétrico se comporta com menor probabilidade de falhas na medição.

Outro fator importante na escolha dos hidrômetros para monitoramento foi que os hidrômetros já haviam sido utilizados em pesquisas semelhantes, ou seja, em canais naturais, e com adução de água apenas por gravidade para o monitoramento de água em lavouras orizícolas. Os hidrômetros utilizados foram cedidos pelo IRGA, em parceria na pesquisa com a UFSM neste experimento.

Os hidrômetros utilizados, figura 12 e figura 13, pertencentes ao IRGA, apresentam especificações técnicas conforme apresentado no quadro 5

Quadro 5 – Características técnicas dos hidrômetros.

Especificações Técnicas
- Marca: Sensus
- Modelo: Typ WP – Dynamic 100
- Classe Metrológica: “B”
- Pressão de Serviço PN: 16 bar (1,6Mpa)
- Temperatura de trabalho: até 50 °C
- Diâmetro Nominal (DN): 100 mm
- Vazão Máxima $Q_{Máx}$ ($\pm 2\%$ erro): 300 m ³ /h (83,33 l/s)
- Vazão Nominal Q_n ($\pm 2\%$ erro): 230 m ³ /h (63,88 l/s)
- Vazão de Transição Q_t ($\pm 2\%$ erro): 1,8 m ³ /h (0,5 l/s)
- Vazão Mínima $Q_{Mín}$ ($\pm 5\%$ erro): 0,8 m ³ /h (0,22 l/s)
- Vazão de início de funcionamento: 0,25 m ³ /h (0,07 l/s)

Estes Hidrômetros utilizados, do modelo “WP – Dynamic” possuem como característica diferencial em relação a maioria dos Hidrômetros, pois têm a possibilidade de instalação além das posições Horizontais e verticais, ou seja, este modelo de Hidrômetro pode ser instalado inclinado, desde que a inclinação seja com a direção do fluxo de água para ascendente.



Figura 12 - Hidrômetro Plantio Convencional.



Figura 13 - Hidrometro Plantio Direto.

O hidrômetro possui um mecanismo interno acionado pelo líquido em movimento com certa velocidade. Ao entrar no medidor, o fluido é direcionado em um ou mais jatos e aciona a turbina ou hélice (Figura 14), gerando movimentos de rotação. O totalizador é então acionado e faz registros proporcionais à rotação da turbina, acumulando e indicando o volume em metros cúbicos ou litros.



Figura 14 - Turbina- Hidrômetro.

3.4 Implantação das Estruturas Hidráulicas

3.4.1 Implantação do Sistema “Vertedor x Hidrômetro”

O teste comparativo entre os diferentes sistemas hidráulico, vertedores e hidrômetros, realizado no município de Cachoeira do Sul, na área experimental do IRGA, ocorreu de maneira simultânea entre as estruturas.

Para que se pudesse realizar um teste comparativo com a maior precisão possível, as estruturas deveriam então estar confinadas e em série. Sendo assim, o volume de água passante pelo Hidrômetro era a mesma que após passava através do vertedor, de maneira a assegurar que os dois equipamentos estariam medindo a mesma quantidade (parcela) de água.

Para que pudesse ser medida simultaneamente a mesma quantidade de água nas duas estruturas, foi construído um pequeno canal de alvenaria, através do qual a água passa confinada, pelo hidrômetro e após pelo Vertedor, conforme figura 15 onde está apresentado o sistema hidráulico no plantio direto e figura 16, que apresenta o sistema de monitoramento implantado no plantio convencional.



Figura 15 - Canal de monitoramento (Plantio Direto).



Figura 16 - Canal de monitoramento (Plantio convencional).

O circuito de monitoramento da irrigação de cada parcela ocorreu em “Série”, ou seja, na entrada do canal estava localizado o Hidrômetro e na saída do mesmo canal estava implantado o Vertedor, não havendo outra possibilidade de saída da água deste canal, exceto pelo extravasamento do vertedor.

O sistema construído para realização do teste é composto de uma caixa de captação e distribuição de água, através da qual se capta a água do canal de irrigação, e então através desta caixa, a água é distribuída para as parcelas monitoradas. Esta caixa de captação e distribuição tem dimensões de 0,80m x 0,80m e altura de 0,65m, conforme mostrado em planta baixa do sistema na figura 17 e em Planta de corte, na figura 18.

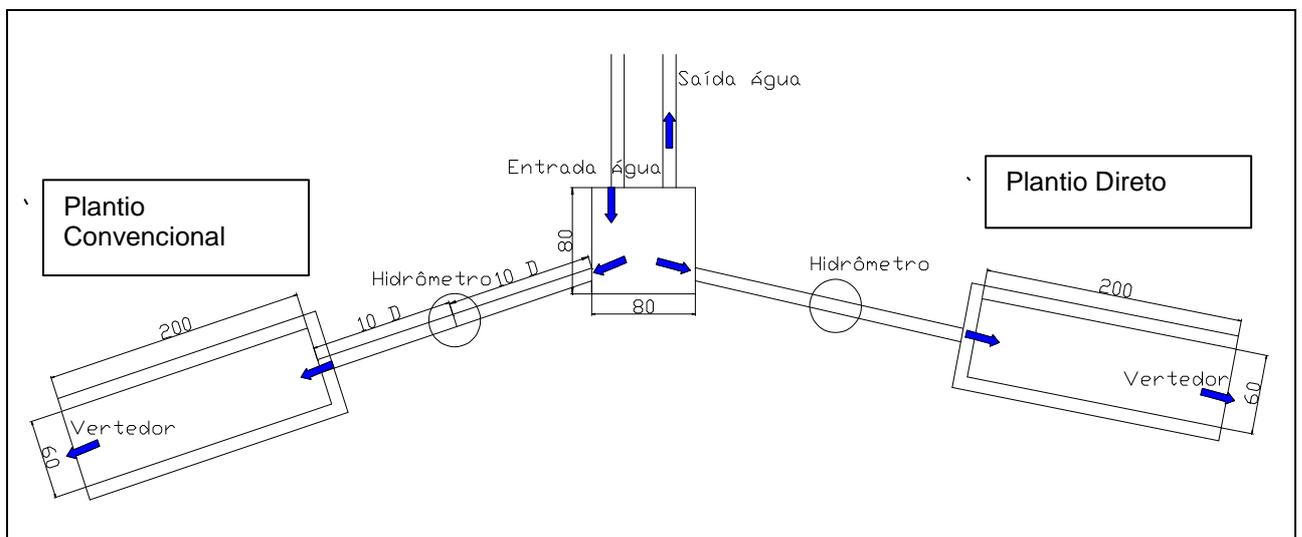


Figura 17 - Planta Baixa do sistema “Vertedor x Hidrômetro”

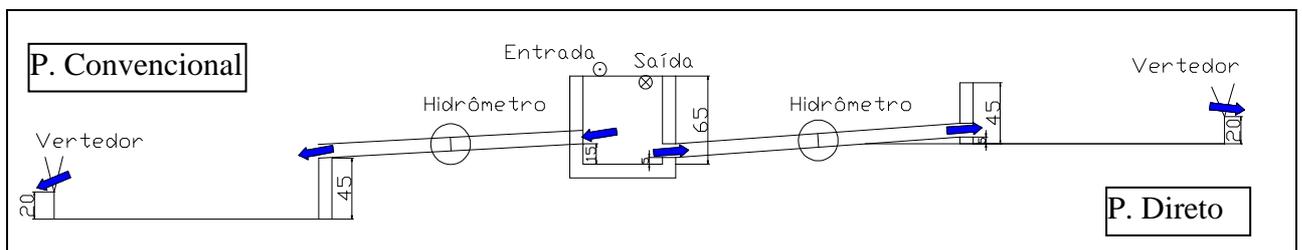


Figura 18 - Planta de Corte do sistema “Vertedor x Hidrômetro”

Após a saída da caixa de Captação e Distribuição, a água passa pelos Hidrômetros, os quais possuíam tubulações de montante e de jusante com comprimento mínimo de dez vezes o diâmetro da tubulação (10D) (aproximadamente 1,0 metro cada segmento).

O início dos canais construídos em alvenaria representa a saída de água da tubulação dos hidrômetros. Estes canais foram construídos tanto para confinamento da água que já havia passado por uma das estruturas (hidrômetro), quanto para estabilização do nível da água para posteriormente passar pelo Vertedor.

Os canais foram construídos com 2,0 metros de comprimento e 0,60 metros de largura, sendo a profundidade de 0,45 metros. Assim, considerando que o vertedor apresenta 0,25 metros de altura, construiu-se o canal para ter 0,20m de altura de soleira, garantindo que o vertedor verteria livremente. A disposição e as dimensões do sistema podem ser verificadas conforme planta baixa e planta de corte, respectivamente na figura 17 e figura 18.

Este sistema comparativo de monitoramento também foi utilizado com o intuito de verificar possíveis erros através da medição com vertedores, quanto ao não monitoramento nos períodos de abertura e fechamento da irrigação diariamente, ou seja, durante a estabilização do nível de água passante pelo vertedor.

Outro fator não sensível ao monitoramento com vertedores é a possibilidade de oscilações diárias do nível de água, não captadas pelos funcionários. Estas oscilações de nível podem ser ocasionadas tanto por motivos naturais, como no caso de rebaixamento do nível de água em reservatórios e rios, quanto devido a fatores humanos, ou seja, na abertura e/ou fechamento de outros canais, que poderia aumentar ou reduzir o nível de água no vertedor.

Ambas as situações acima mencionadas poderiam ser então compensadas e analisadas através da utilização de Hidrômetros conjuntamente, já que estes não são sensíveis a estas oscilações, contabilizando continuamente a água passante, mesmo quando ocorrem alterações no nível da água no canal.

Outro fator que foi monitorado neste sistema comparativo foi a verificação do funcionamento adequado do Hidrômetro neste meio, ou seja, monitorando águas de irrigação, as quais apresentam grande quantidade de partículas em suspensão e que podem prejudicar o funcionamento adequado dos hidrômetros. Na ocorrência de mau funcionamento dos hidrômetros, o vertedor estaria a compensar os valores não monitorados pelos hidrômetros, pois os vertedores não são sensíveis a partículas como folhas, sedimentos e peixes.

Portanto, neste sistema foram monitoradas duas parcelas com o cultivo de arroz irrigado, o sistema completo, com a entrada de água e a distribuição para as

caixas com Hidrômetro e Vertedor pode ser verificado conforme figura 19 e figura 20 a seguir.



Figura 19 - Sistema Comparativo - Hidrômetro x Vertedor.



Figura 20 - Sistema Comparativo – Hidrômetro x Vertedor

3.4.2 Implantação dos Vertedores

Para a adequada utilização dos vertedores no teste experimental, foi necessário seguir alguns critérios técnicos para implantação das estruturas, a fim de se obter a maior precisão possível nos dados coletados.

Portanto, para que todos os vertedores instalados se constituíssem de dispositivos confiáveis de determinação de vazão, estes seguiram o mesmo procedimento de instalação, obedecendo aos seguintes critérios técnicos:

- o local de implantação do vertedor deve ser precedido de trecho retilíneo e uniforme, de maneira que garanta uma distribuição o mais uniforme possível da velocidade do escoamento (PORTO, 2004);
- o vertedor deve ter a altura da soleira maior que a altura da lâmina de água a jusante da estrutura, de maneira que o escoamento através do vertedor ocorra em queda livre da lâmina vertente, ou seja, que o vertedor não trabalhe afogado. (PORTO, 2004).
- as estruturas dos vertedores devem ter largura e altura suficiente para ser engastados no solo (no caso de canais de terra), de maneira a ser estanque a outras passagens de água que não a do vertedor;
- apresentar perfeita horizontalidade e verticalidade das ombreiras, o que pode ser feito por meio de “nível de pedreiro”;
- abaixo da queda de água, a jusante da estrutura, é necessário colocar fragmentos de rocha de modo a impedir a erosão;
- as margens do vertedor, caso ocorra alguma fuga de água, deve-se colocar obstáculos para evitar o fluxo lateral, vedando a passagem da água. Essas barreiras podem ser leivas, madeiras, pedregulhos e/ou sacos plásticos, no caso de canais de terra), e material aglutinante como cimentos no caso de canais construídos em alvenaria;
- a régua de monitoramento deve ser instalada em locais onde não ocorra turbulência da água, pois quanto maior for a turbulência menor será a precisão na leitura do nível da lâmina de água.

No presente trabalho, as estruturas foram instaladas em canal artificial, construído em alvenaria, conforme pôde ser verificado na figura 10 do item 3.2,

sendo que todos os critérios técnicos de instalação foram respeitados, e o vertedor adequadamente instalado.

3.4.3 Implantação dos Hidrômetros

Alguns cuidados são necessários quando da instalação do hidrômetro em obra, estes cuidados interferem diretamente na precisão dos valores fornecidos pelo hidrômetro. Alguns cuidados propostos por Carvalho (2010) devem ser seguidos para uma instalação adequada:

- Todo hidrômetro possui fundida junto com a carcaça uma seta que indica qual o sentido do fluxo de água.
- O fluxo turbulento da água também pode afetar a precisão do hidrômetro, esta turbulência pode ser causada, por exemplo no caso de edificações, por um registro semi-aberto instalado a montante do hidrômetro, estes registros devem trabalhar totalmente aberto ou totalmente fechado, ainda uma grande turbulência da água pode provocar uma super medição, uma vez que apresenta maior quantidade de ar na água..
- No trecho à montante do hidrômetro também deve ser previsto um trecho de regularização de fluxo, ou seja, um trecho horizontal de tubulação que permita que a água passe pelo hidrômetro o mais estabilizada possível, conforme o fabricante dos hidrômetros deste estudo, o trecho mínimo é de pelo menos 5D (cinco vezes o diâmetro) tanto a montante quanto a jusante.
- Semelhantemente, não devem ser instaladas na entrada do hidrômetro peças que reduzam a seção nominal da tubulação, causando estricção, que gera alteração no regime laminar da água.
- Os hidrômetros do Modelo “Dynamic 100”, utilizados neste estudo, podem ser instalados conforme o fabricante, com sua relojoaria na posição horizontal, vertical e inclinado, desde que a inclinação seja em direção ao fluxo e com fluxo ascendente.

Por todos os motivos apresentados acima é que a precisão de um hidrômetro aferido em uma bancada de testes em laboratório pode ter resultados totalmente diferentes quando este mesmo hidrômetro estiver instalado em uma obra. (CARVALHO, 2010)

No entanto, apesar das recomendações técnicas para instalação dos hidrômetros, o monitoramento com este sistema ocorreu de duas maneiras distintas, ou seja, a instalação dos dois hidrômetros utilizados foi diferente em cada parcela, para que pudesse ser também analisado o desempenho de cada uma em diferentes situações de instalação.

Na parcela com sistema de plantio Direto, a instalação do hidrômetro ocorreu conforme indicado pelo fabricante. A inclinação da tubulação e o hidrômetro voltados “para cima”, ou seja, com fluxo ascendente, sendo com a saída de água “afogada”, figura 21, ou seja, a água passa pelo hidrômetro ocorre a com tubulação sempre completamente cheia. Nesta metodologia, o nível de captação de água da tubulação do hidrômetro esta abaixo do nível da tubulação de saída de água do hidrômetro.

Esta metodologia tenta evitar que se tenham submedições das vazões pelos hidrômetros, o que pode ocorrer através da passagem de água pelo hidrômetro com a tubulação não estando completamente cheia.



Figura 21 - Vista do hidrômetro instalado no sistema de plantio direto.

Já na parcela com sistema de plantio convencional, o hidrômetro velocimétrico foi implantado de maneira a verter com saída “livre”, figura 22, ou seja,

o nível da tubulação de captação de água do hidrômetro estava acima do nível da tubulação de saída, estando à tubulação inclinada “para baixo”.

Esta metodologia é a usualmente utilizada em pesquisas semelhantes, quando se utilizam hidrômetros diretamente em canais de irrigação. No entanto, esta metodologia é mais passível de apresentar erros de monitoramento, uma vez que a água pode passar pelo hidrômetro sem a tubulação estar completamente cheia.



Figura 22 - Vista do hidrômetro instalado no sistema de plantio convencional

Estas configurações foram simuladas para que pudesse ser comparada a diferença de resultados entre as metodologias, e também para simular a utilização usual deste tipo de equipamento em outras pesquisas quando neste meio, e assim verificar a viabilidade de utilização em canais de irrigação. A implantação do sistema ainda pode ser vista conforme figura 23 e figura 24 a seguir, no final do processo de construção.



Figura 23 - Sistema - Hidrômetro x Vertedor na área de plantio direto.



Figura 24 - Sistema - Hidrômetro x Vertedor na área de plantio convencional.

3.5 Pluviômetro

Para que pudesse ser determinado o volume total de água utilizado durante a safra, foi necessário também determinar qual o volume precipitado na parcela. Desta maneira, realizando-se o somatório da água irrigada com a água precipitada, e subtraindo o volume drenado superficialmente (caso houvesse saída de água), obtém-se o valor total de volume necessário para o cultivo.

Para determinação da medida de precipitação ocorrida em determinado local, podem-se fazer uso de instrumentos como os pluviômetros e Pluviógrafos. A medida da precipitação consiste na determinação da lâmina de água que se depositaria sobre a superfície monitorada, desconsiderando para esta lâmina de água, os processos de evapotranspiração, escoamento superficial e infiltração no solo. (TUBELIS e NASCIMENTO, 1937)

Pode-se ainda definir conforme Furtado & König (2008), que o pluviômetro é um instrumento utilizado para determinar a precipitação, principalmente sob a forma de chuvas. Sendo que este instrumento consiste de um reservatório, com formas e dimensões conhecidas, dotado de uma superfície de captação horizontal, por onde a água será recolhida. Posteriormente a captação da água, verifica-se a altura de água, que será correspondente a altura de água precipitada, geralmente em milímetros(mm).

Para Conceição e Zanetoni (2007), a utilização de pluviômetros “plásticos” para a determinação do total de chuvas é amplamente utilizado entre pequenos produtores rurais, devido ao baixo custo desses equipamentos. Os valores registrados, entretanto, nem sempre são corretos, podendo apresentar erros que comprometem o planejamento de atividades como a irrigação.

Ainda Conceição & Zanetoni (2007), em pesquisa comparativa entre pluviômetros de “plástico” e Pluviômetros do tipo Ville de Paris, encontraram superestimativas das médias igual a 23%, para pluviômetros com pequena área de captação. Com isto, os autores sugerem em caso de utilização de pluviômetros de plástico, estes possuam a maior área possível de captação, para que os erros de medição sejam minimizados.

Quanto às metodologias de utilização dos Pluviômetros, Furtado e König (2008) sugerem os seguintes procedimentos para Instalação e Operação de pluviômetros:

- o pluviômetro deve ser instalado de maneira a receber toda a precipitação, independente de sua direção, sem que ocorra obstrução;
- qualquer possível obstáculo deve ficar afastado a uma distância de pelo menos duas vezes a altura de instalação do pluviômetro;
- deve-se evitar instalá-los em terrenos fortemente inclinados, principalmente em encostas voltadas para a direção predominante dos ventos;
- a borda do aro superior (superfície de recolhimento) deve estar nivelada a 1,50m do solo;
- o instrumento deve ser fixado por abraçadeiras próprias a uma estaca suporte, rigidamente fixada ao solo;
- o acesso ao pluviômetro deve ser possível em qualquer época do ano e em quaisquer condições;
- durante a instalação e posteriormente durante o monitoramento, deve-se verificar a integridade do instrumento.

Para a determinação da precipitação neste estudo, foi utilizado pluviômetro simples, conforme mostra a figura 25.

Este pluviômetro se destina a registrar a quantidade de precipitação ocorrida em certa área. Possui escala de graduação de 0 a 150 mm e divisão da graduação do pluviômetro de 2 mm. As dimensões do pluviômetro utilizado são como segue: diâmetro da abertura de 2,7 cm; diâmetro da base de 2,1cm e comprimento de 21,9 cm.

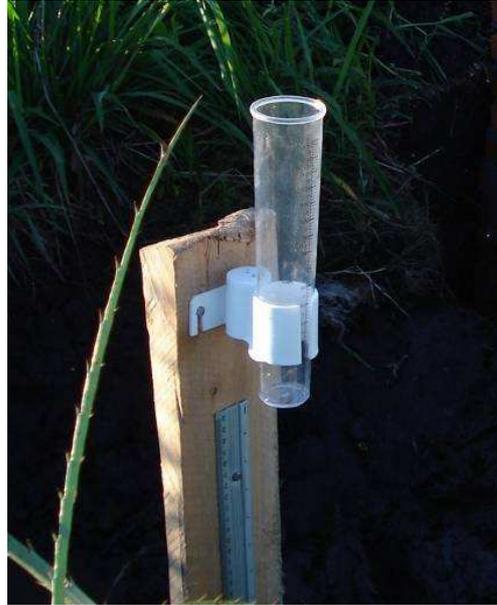


Figura 25 - Pluviômetro da marca Incoterm®

3.6 Monitoramento

3.6.1 Monitoramento das Vazões

A metodologia utilizada para o monitoramento de vazões através de vertedores de parede delgada consiste basicamente em determinar a carga hidráulica passante pela estrutura, ou seja, determina-se qual o nível de água que está vertendo pelo vertedor, sendo este nível medido a montante da estrutura, onde a linha de energia praticamente coincide com a superfície livre da água.

Após determinada a altura de água passante pelo vertedor, utiliza-se este valor da altura da coluna de água em fórmula específica, que varia de acordo com o tipo de vertedor, e então através da equação se obtém a vazão passante naquele momento, ou seja, para aquele nível de água.

Para a determinação do volume irrigado é preciso também determinar o tempo de irrigação em cada nível. Com isto, foram também anotados os horários de cada leitura realizada durante o dia, bem como dia correspondente de cada leitura,

para que assim, tendo-se a vazão e o tempo que cada vazão ocorreu, pudesse ser determinado o volume total.

A planilha utilizada para as anotações diárias de nível e horários correspondentes pode ser vista conforme figura 26, a seguir. Ainda nesta mesma planilha, consta uma coluna denominada “Precipitações”, a qual foi utilizada para descrever qualquer precipitação ocorrida durante o período, a fim de monitorar também o volume de água decorrente das chuvas.

Planilha para Quantificar o Volume de Água do Arroz Irrigado											
Dias do Mês	Hora da Abertura				HORA	Hora de Fechamento				HORA	Precipitações (chuvas)
	P. Direto		P. Convencional			P. Direto		P. Convencional			
	Hidrômetro	Vertedor	Hidrômetro	Vertedor		Hidrômetro	Vertedor	Hidrômetro	Vertedor		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											

Figura 26 - Planilha de monitoramento.

O monitoramento ainda consistiu em verificar diariamente os valores monitorados pelos Hidrômetros Velocimétricos, para que desta maneira, pudesse ser realizada uma comparação mais detalhada entre os dois sistemas. Portanto, no momento de cada leitura do nível de água na régua dos vertedores, era também feita a leitura dos “relógios” nos hidrômetros.

3.6.2 Rotina de Irrigação

Para a determinação dos níveis de água passantes pelo vertedor, diariamente, foram estabelecidas pelo menos duas leituras diárias. Estas leituras ocorriam geralmente nos períodos referentes à entrada e saída dos encarregados de monitorar e controlar a irrigação. Ou seja, a primeira leitura ocorria após abertura e estabilização do nível de água no canal de irrigação (início do “Turno 1”) e a segunda leitura ocorria no momento de fechamento da irrigação (final do “Turno 2”).

Neste trabalho, “Turno 1” e “Turno 2” sendo denominados os períodos referente aos turnos diários de trabalho dos funcionários na área experimental. Neste caso, o “Turno 1” corresponde ao período aproximado compreendido entre oito horas e doze horas, enquanto que o “Turno 2” corresponde ao período compreendido entre aproximadamente quatorze horas e dezoito horas.

Ainda, os encarregados das anotações também ficavam incumbidos de anotar cada alteração perceptível de nível ocorrido durante o dia, bem como qualquer alteração necessária de irrigação.

Por se tratar de parcelas experimentais, e de pequeno porte, os funcionários conferiam os níveis diversas vezes durante o dia, o que garantia uma melhor confiabilidade para os resultados.

Com isto, tanto o monitoramento do nível de água nos vertedores quanto a colocação e retirada dos sensores durante o período de aferição ocorreram quase que na totalidade durante o período diurno, durante os “turnos” de trabalho dos funcionários.

3.7 Aferição das Estruturas

Para se ter maior confiança sobre os resultados obtidos pelos diferentes sistemas hidráulicos, alguns testes devem ser realizados a fim de verificar a exatidão destes resultados, ou seja, deve-se testar a precisão das estruturas para verificação de possíveis erros de monitoramento.

Desta maneira, algumas metodologias foram utilizadas para aferição das vazões monitoradas pelos sistemas hidráulicos. Foram aferidos principalmente os valores monitorados pelos vertedores, uma vez que o monitoramento destes pode ocasionar erros sistemáticos, como a leitura equivocada do nível de água devido ao deslocamento da estrutura, ficando esta em desnível com a régua fixada à montante.

As metodologias utilizadas neste estudo para aferição das estruturas estão descritas conforme segue:

3.7.1 Aferição com Sensores Automáticos de Nível

O “Levelogger” e o “Barologger” são dispositivos bastante semelhantes que atuam em conjunto na determinação da variação do nível de água em poços e canais abertos. Trabalham como um transdutor de pressão, ou seja, determinam o nível através da pressão exercida sobre eles, sendo que o Levelogger fica instalado submerso, enquanto que o Barologger fica fora da água.

O Levelogger faz a leitura da pressão total (pressão da água + pressão barométrica), enquanto o Barologger faz a leitura da pressão barométrica. Através de um software, é possível efetuar a compensação da pressão barométrica, o que resulta no dado compensado, ou seja, valores exclusivamente da pressão da água.

Os sensores utilizados nos teste de aferição são da marca “Solinst”, do tipo “Levelogger Junior” Modelo 3001, utilizado para a determinação da pressão total, e o sensor “Barologger Gold” também da Marca “Solinst”, utilizado para determinação da pressão Barométrica. Ambos realizam além da leitura dos dados também o armazenamento destes.

A utilização dos sensores é feita de maneira simples. O sensor de nível (Levelogger) é instalado no canal a montante do vertedor e fixo em um lugar que não promova seu deslocamento da posição original. Neste teste, o sensor de nível foi instalado e fixado dentro de um cano de PVC, e este cano provido de pequenos orifícios, para que assim se portasse também como um “poço tranquilizador”, aumentando a precisão da leitura dos dados pelo sensor, como na figura 27.



Figura 27 - Instalação do sensor de nível.

O sensor de pressão barométrica é utilizado externamente ao canal de irrigação, sendo assim, basta colocar o sensor próximo ao local onde está localizado o sensor de nível.

No caso de determinação do nível em vertedores, após a coleta dos dados do sensor de nível e do sensor de pressão barométrica, é necessário calcular o valor de uma constante de correção “K” (altura da soleira do vertedor em relação a altura de instalação do sensor) para que se tenha o valor do nível de água na régua do vertedor (cm), ou seja, para determinação do nível de água no vertedor se deve utilizar a seguinte expressão:

$$\text{Levelogger} - \text{Barologger} - K = \text{Nível Régua}$$

Para que se possa então descobrir qual o valor da constante “K” (altura da soleira do vertedor em relação a altura do sensor), é necessário realizar a operação inversa da expressão anterior. Para isto, é necessário que em dado instante seja anotado o valor do nível na régua do vertedor, bem como o instante da anotação. Com isto, verifica-se o valor do Levelogger e do Barologger nas tabelas e substitui-se na expressão, encontrando assim o valor da constante “K”.

3.7.2 Medição Volumétrica – Cubagem (Método Direto)

Este método consiste na determinação do volume de água passante por uma seção considerada e o tempo necessário para este volume atravessar esta seção, ou seja, para a verificação de vazão através deste método, é necessário determinar o tempo para que a água passante por uma seção preencha completamente um reservatório com volume conhecido.

Com o volume já conhecido do reservatório, e o tempo para o preenchimento do mesmo, determina-se a vazão de água que está passando pela seção, uma vez que a vazão passante corresponde ao volume pelo tempo de preenchimento.

Apesar de ser um método bastante preciso, a metodologia de medição volumétrica é aplicável quase que somente para pequenas vazões, e também é um método restrito a locais onde a água possa ser recolhida, devido a necessidade de preenchimento de um reservatório com volume conhecido, ou seja, para grandes vazões e locais com baixa declividade a utilização deste método se torna bastante difícil.

A figura 28 a seguir mostra a utilização deste método na aferição do vertedor na parcela com Plantio Direto. Ainda nesta figura pode ser verificado o reservatório de cem litros utilizado para realização do teste.



Figura 28 - Teste com Método Volumétrico

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos do monitoramento dos sistemas hidráulicos durante o período da safra 2010/2011, como também os dados resultantes dos testes de aferição dos sistemas hidráulicos.

Primeiramente serão abordados os dados provenientes dos testes de aferição, assim verificando a precisão e os problemas de utilização de cada sistema hidráulico. Após análise dos testes de aferição, serão então discutidos os dados resultantes do monitoramento durante a safra, com análise baseada principalmente nos testes de aferição.

4.1 Resultados das Aferições

A seguir, serão apresentados e discutidos os dados obtidos da aferição dos sistemas hidráulicos utilizados neste teste experimental. Os testes foram realizados simulando diversas combinações usuais e possíveis de acontecer durante o período de irrigação, para que assim, fosse possível obter a maior quantidade de informações tanto referentes a precisão de monitoramento quanto das dificuldades de utilização de cada sistema hidráulico.

4.1.1 Aferição com Sensores automáticos de Nível

A aferição com sensores automáticos para monitoramento dos níveis de água passante pelos vertedores instalados nas parcelas de arroz irrigado foi realizada em duas épocas distintas.

A primeira aferição ocorreu em período após a safra de 2009/2010, onde foram simuladas situações usuais de irrigação, mas, no entanto, não havia mais derivações de água dos canais, sendo a água utilizada exclusivamente para o teste de aferição.

A segunda aferição dos níveis de água ocorreu durante o período de irrigação da safra de 2010/2011, na qual os volumes de água monitorados são realmente os utilizados na cultura, bem como todas as situações reais de irrigação foram monitoradas.

Os dois testes de aferição de nível de água serão abordados individualmente a seguir.

- Aferição em período Pós-safra 2009/2010

A aferição dos sistemas hidráulicos por meio de sensores automáticos de nível, na figura 29 e figura 30, realizada após o período da safra 2009/2010, consistiu na simulação de diferentes situações usuais do processo de irrigação que ocorrem durante o período do cultivo do arroz. Este teste de aferição foi realizado em um período de três dias consecutivos no mês de Abril, sendo que foram simulados diferentes situações de irrigação, como períodos de abertura e fechamento de água e também variações de nível no canal principal.



Figura 29 - Teste com Sensor de Nível.



Figura 30 - Sensor de Nivel – Plantio Direto.

Com os resultados da aferição através dos sensores de nível na parcela com plantio direto (Tabela 4), verifica-se que em todos os testes em que não houve irregularidades, o Hidrômetro Velocimétrico (Taquimétrico) apresentou resultados maiores que os monitorados pelo Vertedor.

Tabela 4 - Aferição com sensores - Plantio Direto.

Sistema Hidráulico	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6
Hidrômetro Velocimétrico (m³/ha)	25,25	36,44	20,39	97,54	24,29	70,59
Vertedor Triangular(m³/ha)	18,21	29,34	15,45	109,94	22,25	64,42
Horas	4,03	2,22	1,22	7,57	1,43	4,07
Diferença de Volume (m³/ha)	7,04	7,10	4,94	**12,40	2,04	6,17
*Diferença de Volume (%)	38,65	24,22	32,00	-11,28	9,15	9,58

* Em relação ao vertedor.

**Hidrômetro Ficou "parado" por tempo indeterminado. Motivo: folhas/ sujeira.

No entanto, verifica-se uma exceção quanto ao “Teste 4”, onde o vertedor apresentou volume de água monitorado maior que o Hidrômetro Velocimétrico. Neste caso, foi constatado no momento do teste o trancamento total do hidrômetro por tempo indeterminado, ou seja, o hidrômetro continuou permitindo a passagem de água, mas sem a contagem da mesma.

Esta situação de trancamento do hidrômetro ocorreu devido à presença de partículas na água, como folhas e pequenos galhos. Estas situações presenciadas nos testes de aferição podem ser verificadas conforme figura 31 e figura 32 a seguir.



Figura 31 - Sujeira no Hidrômetro (1).



Figura 32 - Sujeira no Hidrômetro (2).

Já os resultados obtidos do monitoramento com Sensores de Nível na parcela com Plantio Convencional (Tabela 5), apresentaram valores monitorados maiores para o Hidrômetro em todos os testes realizados. Nesta parcela, não ocorreu em nenhum momento o trancamento total do hidrômetro, conforme ocorreu no “Teste 4” de aferição no Plantio Direto.

Tabela 5 - Aferição com sensores - Plantio Convencional

Sistema Hidráulico	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6
Hidrômetro Velocimétrico (m³/ha)	77,52	55,20	29,65	191,96	57,17	130,29
Vertedor Triangular (m³/ha)	74,74	51,71	28,38	191,20	42,74	115,72
Horas	4,03	2,22	1,28	7,73	1,53	4,25
Diferença de Volume (m³/ha)	2,79	3,49	1,28	0,76	14,43	14,56
*Diferença de Volume (%)	3,73	6,75	4,50	0,40	33,77	12,59

* Em relação ao vertedor.

A grande diferença verificada entre os testes, que no teste na parcela com Plantio Direto variou de -11,28% até 38,65% e no Plantio Convencional a variação verificada foi de 0,40% a 33,77%, pode ser explicada principalmente pela presença de partículas no interior dos hidrômetros e pela presença de grande quantidade de ar na água. A presença de bolhas de ar na água pode ser o principal fator responsável pelo maior volume monitorado pelos hidrômetros, enquanto que a variação destes volumes pode ter como fator responsável o trancamento tanto parcial como total da turbina dos hidrômetros.

Quanto a presença de partículas na água, esta situação foi verificada nos testes de aferição, onde foi constatado o trancamento parcial do hidrômetro pela presença de pequenos peixes, e pode ser verificada conforme figura 33. Já a alta quantidade de ar na água se deve a força de entrada da água na caixa de distribuição, o que causa uma turbulência muito grande e conseqüentemente a alta quantidade de bolhas de ar na água.



Figura 33 - Trancamento parcial do Hidrômetro (peixes)

Como citado e apresentado anteriormente, uma vez que as partículas em suspensão presentes na água não interferem no monitoramento com o vertedor, no caso dos hidrômetros acabam por ter significativa interferência no monitoramento, já

que alteram a rotação da turbina do hidrômetro, bem como a presença de grande quantidade de ar na água ocasiona a super medição pelos hidrômetros.

Portanto, a presença de partículas em suspensão na água pode causar o trancamento Parcial ou Total do hidrômetro. No “Teste 4” de aferição com os sensores, na parcela com Plantio Direto, foi verificado o trancamento total do hidrômetro também devido a presença de “folhas”, situação que pôde ser verificada no resultado final do teste.

Já a partir do trancamento parcial do hidrômetro, ou seja, situação em que a rotação da hélice do hidrômetro é prejudicada pela presença de partículas, pode-se explicar a grande diferença entre os testes. Ou seja, nos testes onde ocorreram variações de volume entre os sistemas variando de 9,15% a 38,65% no Plantio Direto (desconsiderando o “Teste 4”) e de 0,40% a 33,77% no Plantio Convencional, sendo o provável fator responsável por esta variação o trancamento parcial do hidrômetro pela presença de partículas, enquanto que o maior volume monitorado pode ter ocorrido principalmente devido a grande presença de ar na água.

Ainda a variação de valores poderia ter sido devido a variação de nível nos canais de irrigação, no entanto, como pode ser verificado nos exemplos do gráfico 1, referente ao teste 4 de aferição e também no gráfico 2 (teste6), que foram os testes com maior tempo simulado de irrigação, o nível dos canais se manteve constante. Através do gráfico 1 e também do gráfico 2, é possível constatar que os sensores não apresentaram variação de nível no período monitorado, bem como, nestes testes, o monitoramento a campo também foi constante, e visualmente também não foi constatado variações de níveis nos canais.

Em ambos os testes é verificado no gráfico uma variação inicial e uma variação final, mas que no entanto não são consideradas nos resultados, e são referentes apenas aos testes de aferição da altura do sensor em relação a soleira do vertedor.

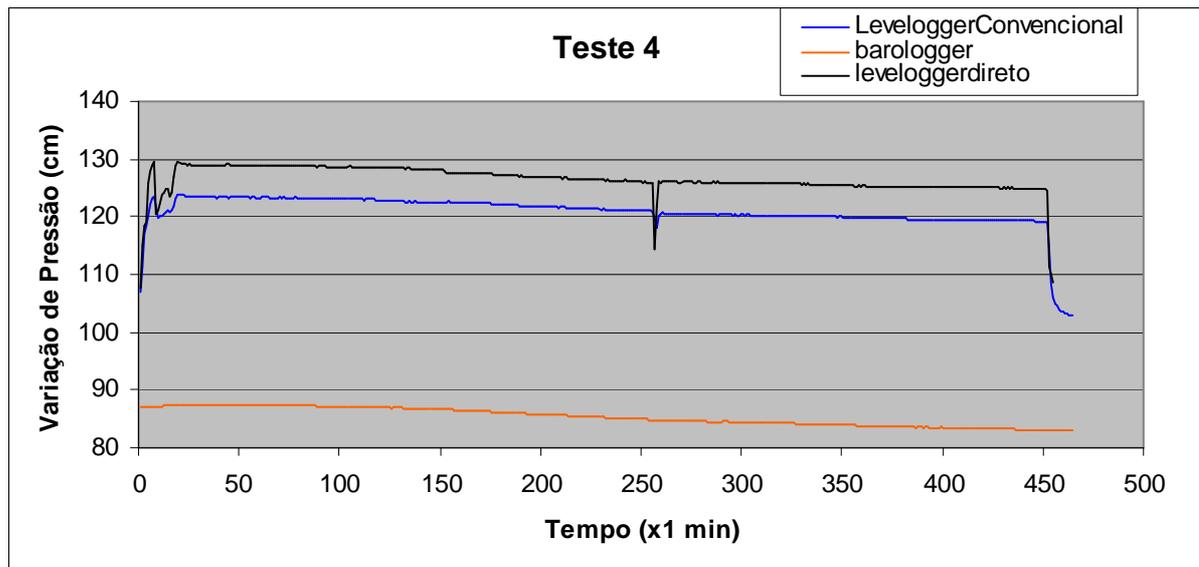


Gráfico 1 - Curva dos sensores no teste 4.

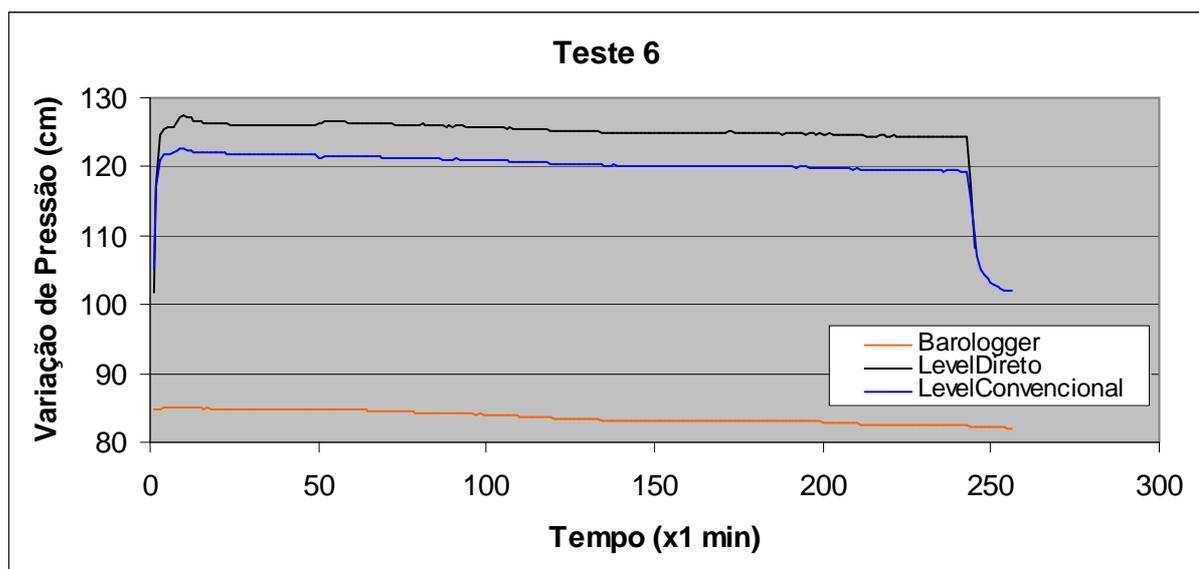


Gráfico 2 - Curva dos sensores no teste 6.

Ainda analisando os resultados do monitoramento com sensores nos “Testes 4 e 5”, verifica-se ampliadamente no gráfico 3 e gráfico 4, respectivamente, a representação do comportamento dos níveis de água nos canais.

Nestes gráficos, através das curvas de variação de nível, verifica-se apenas uma pequena “rugosidade” nas curvas, o que pode ser tanto devido a turbulência superficial da água, que acarreta em variações de poucos milímetros na superfície, quanto a própria variação de pressão barométrica, mas que no entanto é

compensado por ambos os sensores, conforme também constatado nos gráficos.

Portanto, através dos gráficos, pode ser confirmado que não ocorreu variação de monitoramento do nível devido à turbulência da água, o que devido a movimentos ascendentes e descendentes poderiam causar maior ou menos pressão sobre os sensores de nível (Levellogger).

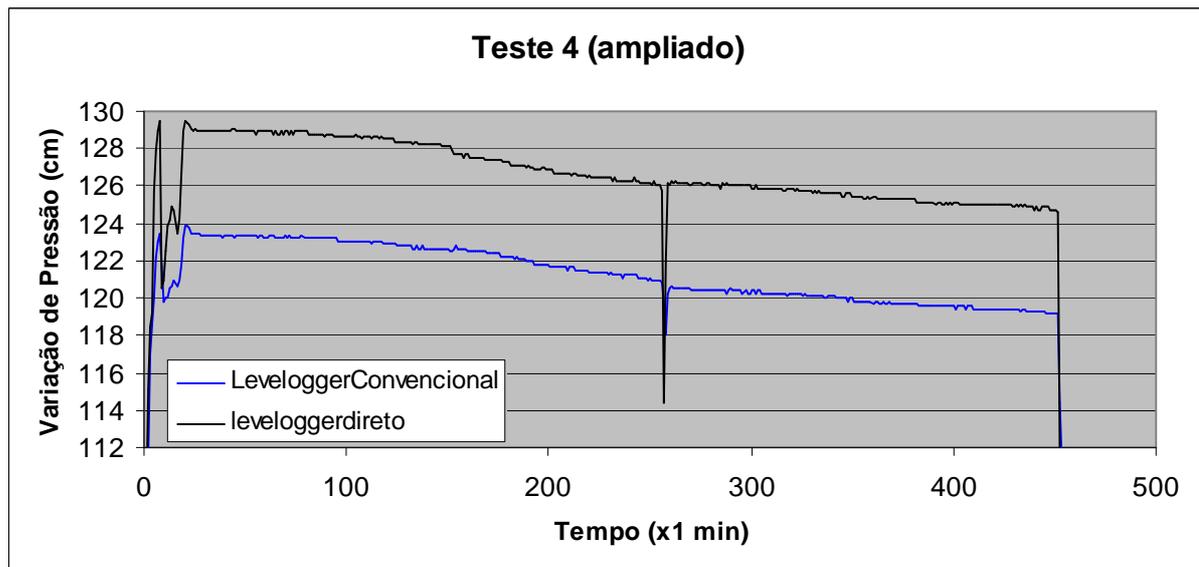


Gráfico 3 - Curvas dos sensores de nível (teste 4).

Ainda no gráfico 3, pode ser verificado um pico de redução do nível de água em ambas as parcelas. Conforme análise dos dados, verificou-se que este decréscimo ocorreu no momento em que foi retirado o Hidrômetro que estava trancado para a limpeza, ou seja, naquele momento a água escoava pelo orifício aberto deixado pela retirada do hidrômetro, o que acarretou a redução do nível de água em ambas as parcelas.

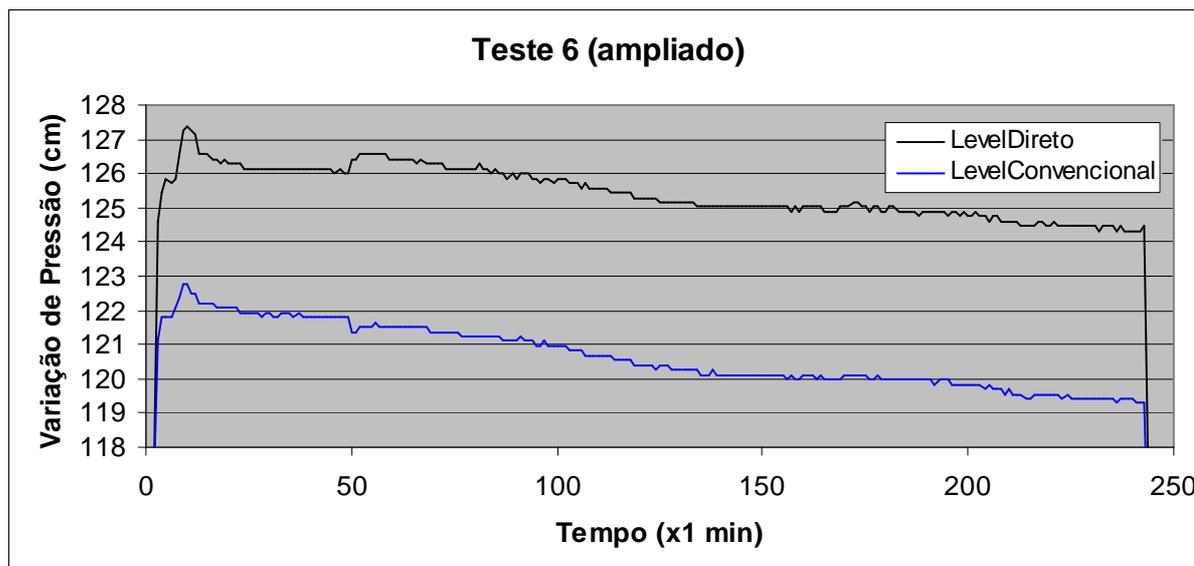


Gráfico 4 - Curva dos sensores de nível (teste 6).

- Aferição durante Período da Safra 2010/2011

O teste de aferição durante a safra de 2010/2011 teve como objetivo principal verificar a ocorrência de variações naturais no nível dos canais de irrigação, decorrentes de derivações de água para outros canais, o que poderia acarretar em erros de medição pelos vertedores, caso não fossem alterações perceptíveis aos responsáveis pelo monitoramento dos níveis.

Através dos dados obtidos com a utilização de sensores automáticos de nível foi possível calcular o volume de irrigação diário, e então compará-los com os volumes encontrados através das anotações diárias do nível de água realizadas pelos funcionários responsáveis pelas leituras.

Os resultados do teste de aferição nas parcelas com plantio direto e plantio convencional, podem ser verificados conforme tabela 6 e tabela 7, respectivamente. Nos resultados apresentados nas tabelas é possível verificar o volume determinado através dos sensores, como também o volume monitorado pelos dados das anotações diárias. Ainda nas tabelas, são apresentados os dias de monitoramento da irrigação com as respectivas horas de duração, e por fim é apresentada a diferença entre os dois métodos.

Tabela 6 - Aferição com sensores (pós-safra) – Plantio Direto.

SENSOR (Plantio Direto - Safra 2010/2011)					
Dia	Tempo (h)	Volume Vertedor (sensor)(m ³)	Volume Vertedor (leitura)(m ³)	Diferença (%)	Diferença Média (%)
23/11/10	9,75	192,32	178,08	7,41	12,59
26/11/10	5,833	73,23	49,52	32,37	
26/11/10	2,50	63,87	71,64	-12,16	
29/11/10	8,00	116,95	123,22	-5,36	
30/11/10	9,67	194,37	207,08	-6,54	
2/12/10	7,16	115,48	110,28	4,50	
6/12/10	8,25	106,23	105,82	0,39	
7/12/10	9,63	165,21	190,79	-15,48	
9/12/10	3,23	56,95	69,19	-21,48	
14/12/10	8,65	68,35	59,48	12,98	
16/12/10	9,33	136,71	98,20	28,17	
21/12/10	16,45	146,57	139,66	4,71	
24/12/10	2,83	62,78	70,41	-12,16	
Total		1499,03	1473,37	1,71	

Tabela 7 - Aferição com sensores (pós-safra) – Plantio Convencional

SENSOR (Plantio Convencional - Safra 2010/2011)					
Dia	Tempo (h)	Volume Vertedor (sensor)(m ³)	Volume Vertedor (leitura)(m ³)	Diferença (%)	Diferença Média (%)
23/11/10	9,75	323,45	319,29	1,28	7,44
26/11/10	5,83	164,24	167,14	-1,76	
29/11/10	8,00	191,91	229,23	-19,45	
02/12/10	6,08	236,72	242,99	-2,65	
06/12/10	8,25	247,32	270,17	-9,24	
09/12/10	3,23	107,64	120,18	-11,65	
14/12/10	8,65	235,04	247,86	-5,45	
16/12/10	9,33	290,48	305,64	-5,22	
21/12/10	16,45	232,32	253,38	-9,06	
24/12/10	2,83	102,99	111,93	-8,68	
Total		2132,113	2267,81	-6,36	

Conforme os resultados obtidos do teste de aferição, pode-se verificar que a diferença de volume final monitorado na parcela com plantio direto foi de 1,71% a mais de volume monitorado pelos dados do sensor que com os dados das anotações manuais, mas no entanto a diferença média diária alcançou 12,59%.

Já a diferença encontrada no volume final do teste na parcela com plantio convencional foi de 6,36% a menos pelos dados do sensor que com os dados das anotações manuais, mas quando considerada a diferença média diária, obteve-se 7,44% de diferença.

Analisando os dados comparativos, verifica-se uma variação diária bastante significativa entre os dois métodos (sensores e leituras a campo). Na parcela com plantio Direto podem ser verificadas variações significativas de aproximadamente 32% (26/11/2010) e 21% (09/12/2010) respectivamente. Enquanto que na parcela com plantio Convencional a variação máxima verificada foi de aproximadamente 19% (29/11/2010).

Para as variações verificadas entre os dois métodos de calculo do volume, um com dados dos sensores e outro com dados de leituras a campo do nível de água,

três hipóteses (incertezas) foram verificadas e serão discutidas, baseadas nas análises dos dados dos sensores, e também no relato dos funcionários responsáveis pelas leituras.

A primeira hipótese se refere à diferença de pressão barométrica determinada por cada sensor. Para formulação desta hipótese, baseou-se na diferença de resultados dos sensores, quando estes estavam fora da água e monitoraram valores distintos de pressão. Conforme pode ser analisado no gráfico 5 a seguir, anteriormente ao início do período de irrigação no exemplo do dia 29/11/2010, a diferença verificada entre os sensores apresentava valores de aproximadamente um centímetro, enquanto que após o fim da irrigação, as curvas dos dois sensores praticamente não apresenta diferença.

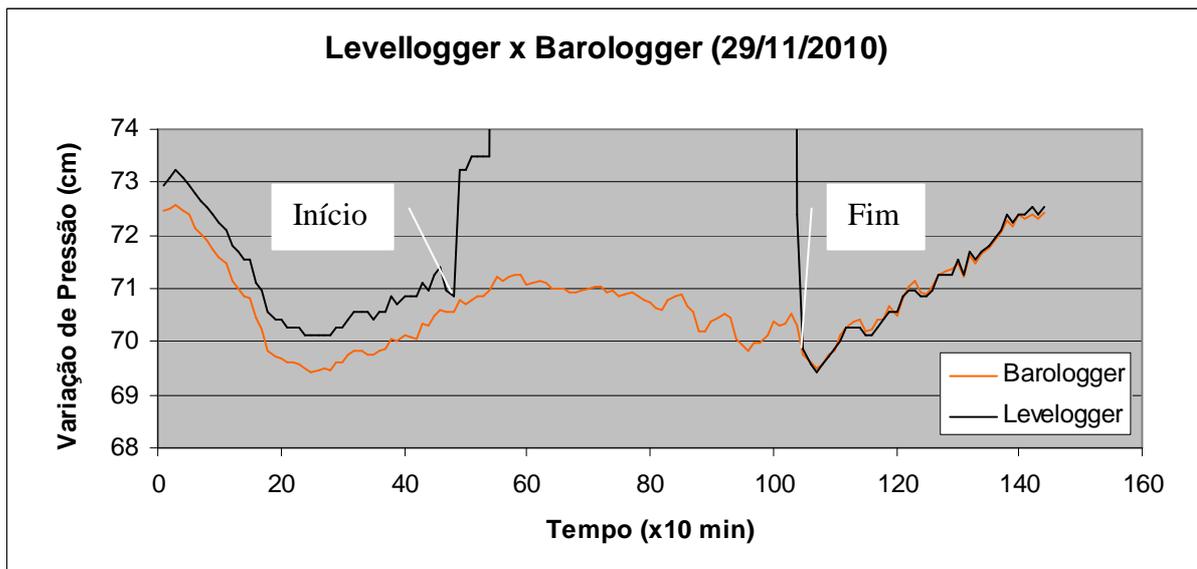


Gráfico 5 - Comparativo das curvas dos sensores no dia 29/11/2010.

Já analisando o gráfico 6, verifica-se em um dia em que não ocorreu irrigação, uma variação de valores entre os sensores. Neste caso, verifica-se uma variação positiva Levellogger em relação ao Barologger em quase a totalidade dos dados.

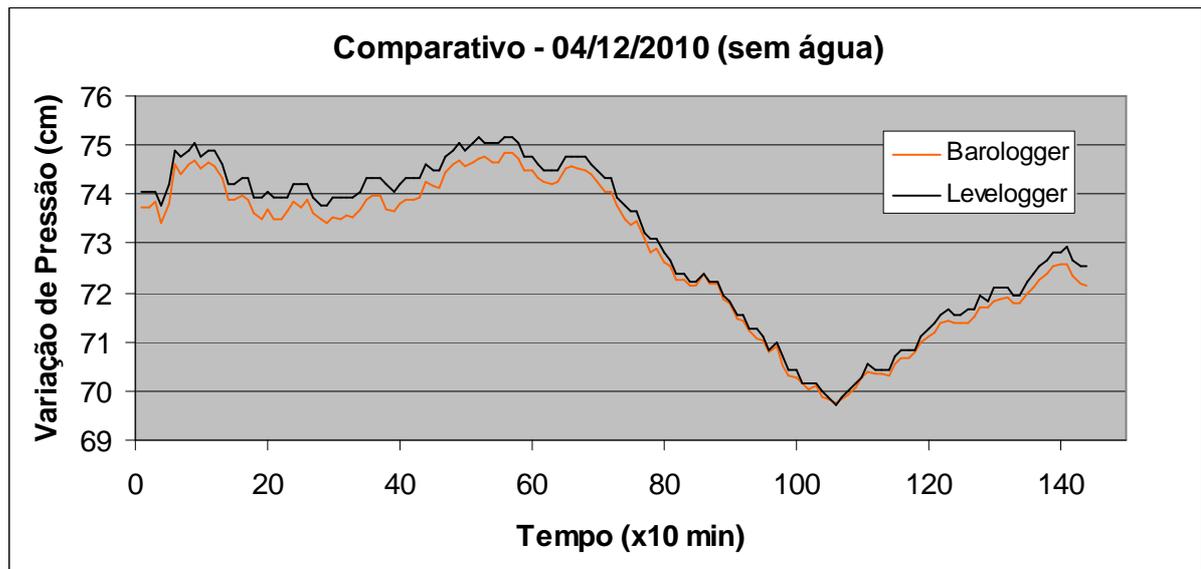


Gráfico 6 - Comparativo entre sensores, fora da água 04/12/2010.

Ainda considerando a hipótese de diferença de medição entre os sensores, verifica-se no gráfico 7, que em um dia sem irrigação e quando os sensores estavam próximos um ao outro, a variação entre os sensores ocorre aleatoriamente, ou seja, existem momentos em que o Levelogger apresenta valores superiores ao Barologger e momentos em que ocorre a situação contrária.

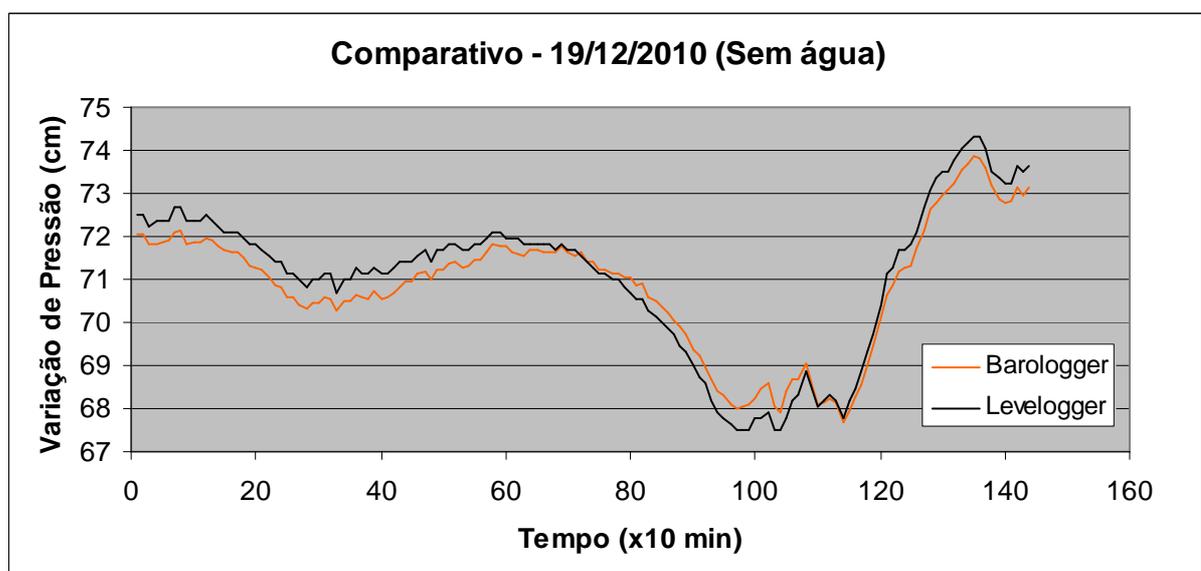


Gráfico 7 - Comparativo entre sensores, fora da água 19/12/2010.

A segunda hipótese levantada se refere à diferença de valores monitorados devido a variações naturais de pressão em diferentes locais, mesmo não muito distantes. Neste teste com sensores, por medida de segurança, o sensor de pressão barométrica (Barologger) ficou locado na sede do IRGA, a aproximadamente 800 metros das parcelas monitoradas.

Analisando o gráfico 6, o qual expressa um comportamento padrão do monitoramento nos diferentes dias, com características repetitivas da curva, pode-se verificar que existem variações cíclicas entre os valores de pressão monitorados pelos sensores.

Analisando os diversos “ciclos” de diferença, nota-se que estes são referentes aos turnos de trabalho dos funcionários, ou seja, conforme o gráfico 6, verifica-se que o “Turno1” inicia as oito horas da manhã e tem fim as doze horas (meio dia). Entre o “Turno1” e o “Turno2”, verifica-se que os valores se aproximam novamente, ou seja, este “intervalo” entre os turnos corresponde aos horários de doze horas (meio dia) e quatorze horas, início e fim respectivamente, constatando-se ser este o “horário de intervalo” dos funcionários.

No entanto, neste período de intervalo, os funcionários carregavam consigo os sensores de nível (levellogger), para junto do sensor de pressão (barologger), locado na sede da área experimental.

O mesmo ciclo pode ser verificado no “Turno 2”, que tem início as quatorze horas e fim as dezoito horas. Neste dia (21), no entanto, a irrigação ocorreu durante a noite, o que pode ser verificado conforme “(Turno 1)”, e teve fim as doze horas do dia seguinte (22). Após o fim de irrigação novamente verifica-se valores semelhantes, que ocorrem entre o “(Turno 1)” e “(Turno 2)”, e de mesma maneira que anteriormente, este intervalo corresponde ao horário de “intervalo” dos funcionários. Após o “intervalo”, verifica-se o “(Turno 2)”, que tem seu início as quatorze horas e fim as dezoito horas novamente. Este ciclo de variação de pressão ainda pode ser visto em destaque no gráfico 7.

Esta hipótese é de grande relevância, pois pode interferir significativamente na variação pontual dos dados de nível nos canais, uma vez que os sensores de nível e de pressão não estão muito próximos. Quando testados em período pós safra, os sensores estavam localizados poucos metros uns aos outros, sendo que desta maneira não foram verificadas variações significativas entre os sensores, como pôde ser visto nos gráficos 1 e 2 do item anterior.

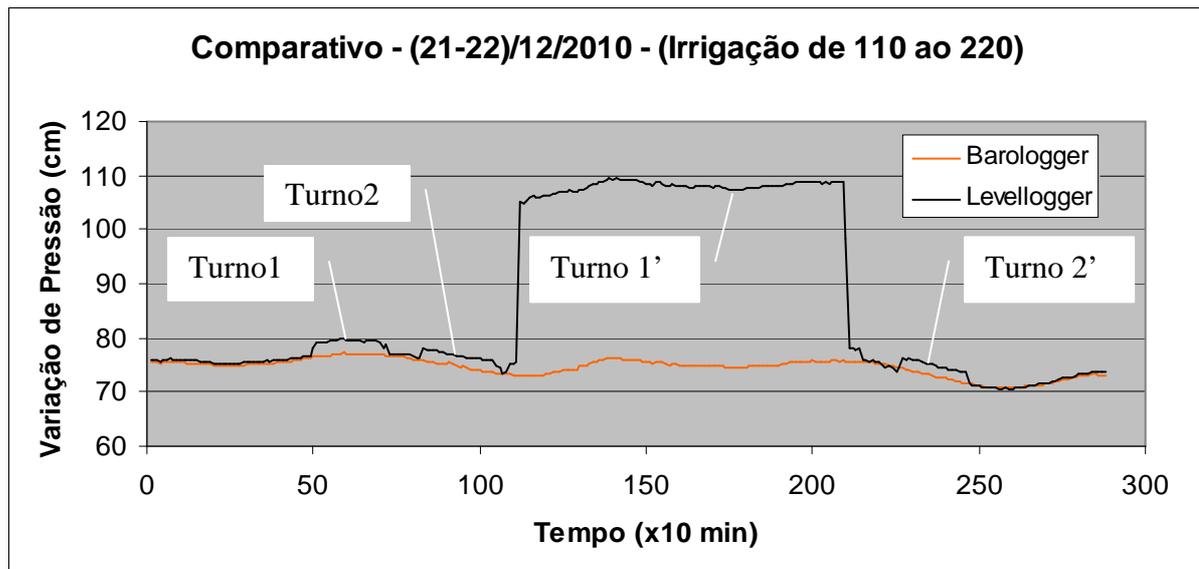


Gráfico 6 - curva de variação entre sensores em períodos com e sem irrigação.
Obs.: "Turno 1" e "Turno 2", períodos de trabalho dos funcionários.

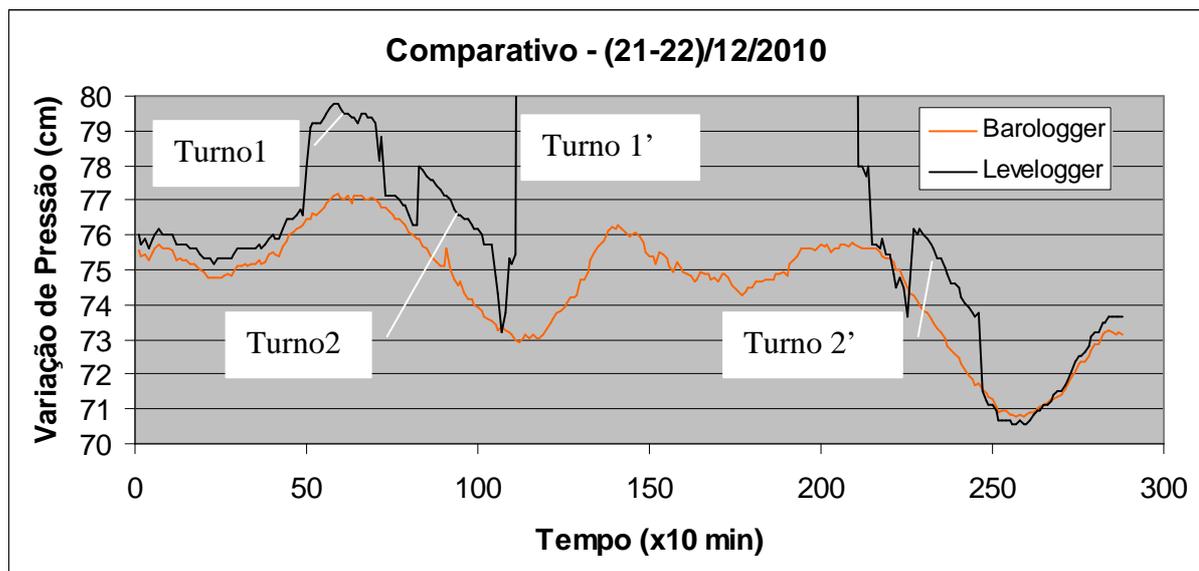


Gráfico 7 - Curva da variação entre sensores fora da água (escala vertical ampliada).

Já a terceira hipótese para a variação entre os volumes, refere-se a possibilidade de ter ocorrido uma variação de nível no canal não constatada pelos funcionários. No gráfico 8 a seguir, pode ser verificado o gráfico dos sensores durante um dia inteiro (26/11/2010), este dia corresponde a variação máxima verificada na parcela com plantio Direto.

No gráfico, analisando os dados Levellogger, primeiramente verifica-se a Segunda Hipótese, devido a variação de pressão em diferentes locais, pois conforme apresentado no gráfico 8, o “Ponto1” corresponde às oito horas da manhã do dia 26, horário que os funcionários iniciam o trabalho, no entanto, o início da irrigação neste dia ocorre apenas no “Ponto 2”, que corresponde às nove horas e quinze minutos da manhã. Esta situação representa uma variação de aproximadamente dois centímetros entre os sensores, o que poderia acarretar em significativa diferença final de volume.

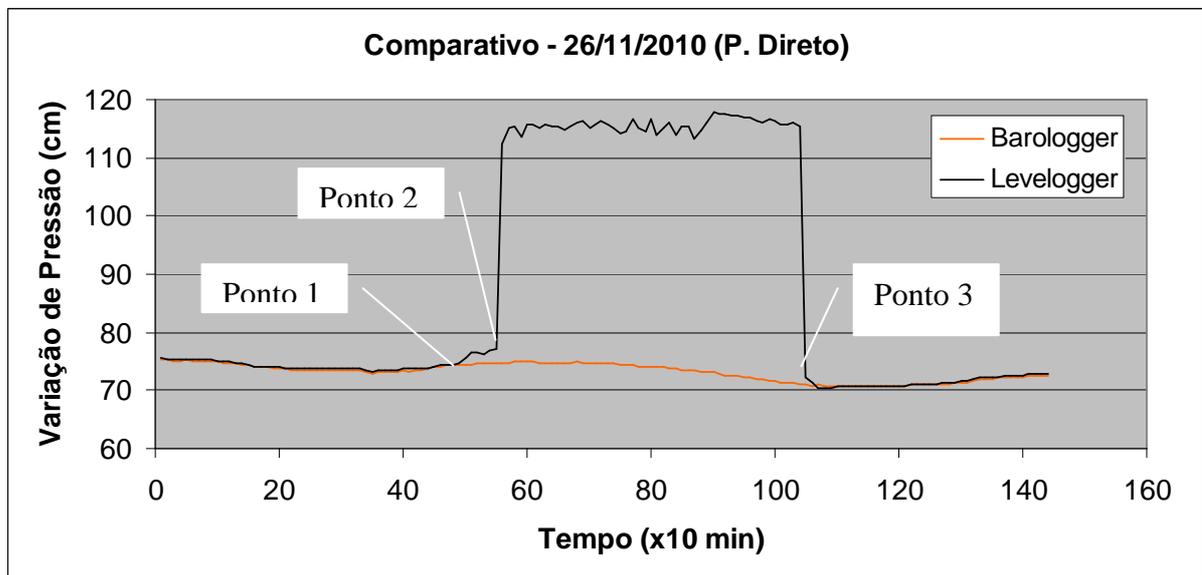


Gráfico 8 - Monitoramento dos sensores (26/11/2010).

Analisando o gráfico 9, o qual representa o período de irrigação do dia vinte e seis de novembro (entre o “Ponto 2” e “Ponto 3” do gráfico 8), pode-se verificar uma variação quase cíclica do nível, o que remete a dúvida da ocorrência de uma variação cíclica do nível do canal. Considerando que o período compreendido entre o “Ponto 2” e o “Ponto 3”, corresponderia a um dia inteiro de monitoramento, ou seja, corresponde ao “Turno 1” somado ao “Turno 2”.

No entanto, esta hipótese, não deixando de se considerada, perde relevância devido a dois fatores. O primeiro, refere-se a dimensão das áreas das parcelas, que por se tratarem de parcelas experimentais de arroz, apresentam pequena área, e são monitoradas várias vezes ao dia pelos funcionários. Os funcionários por sua

vez, relatavam que monitoravam os níveis de água nas régua dos vertedores pelo menos seis vezes ao dia, uma vez que também era necessário monitorar o funcionamento dos hidrômetros instalados juntamente.

O segundo fator referente aos níveis de água dos canais, diz respeito à fonte de alimentação dos destes canais de irrigação. A água para irrigação das parcelas é proveniente da “Barragem do Capané”, a qual é responsável por irrigar centenas de hectares de arroz, sem ocorrer significativa alteração de nível, pois se trata de uma barragem de grandes proporções, o que remete a um abastecimento constante dos canais de irrigação. Mesmo que o nível de água nos canais dependam do manejo das comportas, a variação proveniente deste manejo ocorre de forma bastante lenta, o que poderia ter sido verificado pelos funcionários caso ocorresse.

Com estes fatores, e também com a variação cíclica verificada nos níveis monitorados, a hipótese de variação de nível devido variações nos canais de abastecimento, apesar de não ser descartada, não apresenta significativa importância quanto às outras hipóteses (incertezas).

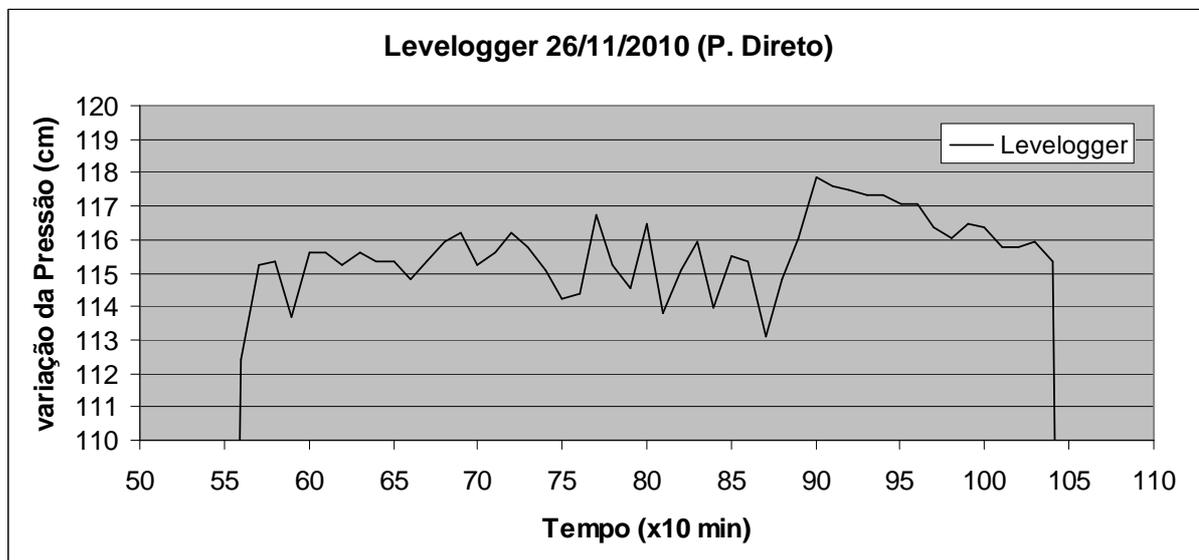


Gráfico 9 - Curva do sensor de nível (21/11/2010)

Ainda poderia ser considerada uma Quarta Hipótese, referente a variação de nível devido a “turbulência” no fluxo da água. Neste caso, quando o fluxo de água passante pelo sensor fosse ascendente, ocorreria uma diminuição da pressão sobre os sensores, e poderia ocorrer no momento da leitura o monitoramento de nível

“menor” do nível de água, já no caso contrário, se o sentido do fluxo passante pelo vertedor no momento da marcação fosse descendente, este poderia causar uma “sobrepessão” sobre o sensor, e este marcaria um nível maior que real.

No entanto, esta hipótese é descartada através das constatações verificadas no teste de aferição com sensores no período pós-safra 2009/2010, quando não foram verificadas variações dos níveis nos testes de aferição.

Contudo, apesar das constatações de variações de volume entre os diferentes métodos, estes quando analisados no total, apresentaram pequena diferença, sendo 1,71% na parcela com plantio Direto e 6,36% na parcela com Convencional.

4.1.2 Aferição pelo Método Volumétrico (Cubagem)

A aferição pelo Método Volumétrico (cubagem), figura 34, foi realizada no sistema de monitoramento, também em período pós-safra, no mesmo período em que foi realizada a aferição com os sensores de nível.

Neste método foi aferido exclusivamente o vertedor, ou seja, o nível de água passante pelo vertedor foi o considerado para verificar a diferença quando comparado com o volume determinado pelo método volumétrico.



Figura 34 - Teste com Método Volumétrico

Para a realização deste teste foi utilizado um recipiente com volume conhecido (cem litros). O teste foi repetido seis vezes para que pudesse ter uma média mais homogênea dos valores obtidos.

Conforme os resultados do teste de aferição por Cubagem, mostrados na tabela 8, pode ser verificado que mesmo não sendo um recipiente de grande volume as diferenças de valores não foram significativas, variando de 0,3% a 1,2% da vazão, comparada entre o vertedor e o método volumétrico.

Tabela 8 - Aferição por Método Volumétrico

Nível	Volume (l)	Tempo (s)	Vazão l/s (cubagem)	Vertedor l/s (equação)	Erro%	Erro Médio (%)
14,800	100,000	20,620	4,850	4,908	1,189	0,818
14,800	100,000	20,640	4,845	4,908	1,284	
14,800	100,000	20,570	4,861	4,908	0,948	
14,900	100,000	20,120	4,970	4,990	0,397	
14,900	100,000	20,100	4,975	4,990	0,298	
14,900	100,000	20,200	4,950	4,990	0,792	

Com as diferenças obtidas, verifica-se que a maior diferença (erro) foi de 1,9%, não sendo um valor significativo, uma vez que o método pode apresentar algumas falhas quanto a sua realização. Considerando a média das diferenças (erros), tem-se um “erro médio” de 0,8% entre o valor monitorado pelo vertedor e o valor determinado pelo método volumétrico, o que comprova a precisão dos valores monitorados pelos vertedores.

As diferenças verificadas entre os métodos podem ter ocorrido tanto pelo procedimento de colocação e retirada do recipiente (preenchimento) quanto pelo erro do operador do cronômetro (precisão na marcação), no início e fim do teste, onde frações de segundos já podem causar alterações no resultado.

Das diferenças obtidas neste método, pode-se considerar como fator interferente, a falha no preenchimento exato do recipiente, e conseqüentemente falhas na precisão da marcação do tempo de preenchimento do recipiente pelo operador do cronômetro. Ainda, outro fator importante nas diferenças verificadas é a

o pequeno volume do reservatório, o qual pode apresentar erros principalmente devido a turbulência da água no momento da determinação de seu enchimento total.

Portanto, com a utilização do método volumétrico na aferição dos vertedores, verifica-se a precisão dos vertedores ao nível de água verificado na régua de monitoramento com sua correspondente vazão passante pela estrutura.

4.2 Resultados do Monitoramento com Vertedores

Os resultados obtidos, com a utilização de vertedores como estruturas medidoras de vazão em canais de irrigação, foram satisfatórios. As estruturas funcionaram adequadamente e dentro dos limites esperados de determinação de vazões, não tendo sido verificado nenhum super-dimensionamento, em que poderia ter ocorrido lâmina de água muito pequena, ou seja, inferior ao limite mínimo, e também não ocorreu sub dimensionamento, o que poderia provocar extravasamento ou cargas de água acima dos critérios máximos estimados no dimensionamento dos vertedores.

Os resultados obtidos do monitoramento com vertedores estão apresentados na tabela 9. Nesta tabela, está apresentado o tipo de vertedor utilizado; a parcela com o Sistema de Plantio em que está inserido; o Volume de Irrigação, o qual corresponde ao valor monitorado pelo vertedor; o Volume de Precipitações, monitorado pelo Pluviômetro; e o volume de drenagem, caso houvesse drenagem de água da parcela, situação que não ocorreu nestas parcelas.

No último critério apresentado ainda na tabela 9, verifica-se o volume Total utilizado por hectare de arroz em cada parcela. Neste total, encontra-se o somatório do volume monitorado pelo vertedor com o volume precipitado, e desconta-se deste somatório o volume de drenagem.

Os dados completos do monitoramento com os vertedores estão apresentados no “Anexo A” para o sistema com plantio convencional e “Anexo B” para o sistema com plantio direto.

Tabela 9 - Resultado do monitoramento com vertedores - safra 2009/2010.

Município	Sistema Hidráulico	Sistema de Plantio	Volume de irrigação (m ³ /ha.)	Precipitação (m ³ /ha.)	Volume de Drenagem (m ³ /ha.)	Volume total (m ³ /ha.)
Cachoeira do Sul	Vertedor Triangular	Convencional	4497,2470	5490	0	9987,247
		Direto	3075,1478	5490	0	8565,148

Desta maneira, com os resultados obtidos, obteve-se para a parcela com Plantio Convencional um volume de aproximadamente 10.000m³/ha (dez mil metros cúbicos por hectare) de água, necessários ao cultivo do arroz irrigado naquela área.

Já na parcela com Plantio Direto, foi monitorado um volume de aproximadamente 8.500m³/ha (oito mil e quinhentos metros cúbicos por hectare) de água, necessários ao cultivo do arroz na parcela.

Os valores encontrados estão coerentes com valores observados na literatura, sendo sua variação tendo provável relação com o tipo de solo de cada parcela. Os solos destas áreas foram anteriormente estudados em pesquisas do grupo de pesquisa Gestão dos Recursos Hídricos (GERHI) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), sendo as características de cada um deles apresentado a seguir na tabela 10.

Tabela 10 - Classificação dos Solos das Parcelas.

Município	Sistema de Plantio	Horizontes	Profundidade (cm)	Estrutura no horizonte B	Consistência Molhada	Transição entre horizontes	Argila (g kg ⁻¹)	Areia (g kg ⁻¹)	Classificação dos solos
Cachoeira do Sul	Convencional	Ap	0 - 20	Blocos angulares e subangulares	Ligeiramente pegajoso e plástico	Plana e clara	195	462	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Típico.
		C ₁	20 - 40			Irregular e clara	193	468	
C ₂	40 - 90	Irregular e clara	208			437			
Cr	90 - 180 ⁺	Irregular e gradual	273			453			
Cachoeira do Sul	Direto	Ap	0 - 35	Blocos angulares e subangulares	Ligeiramente pegajoso e plástico	Plana e clara	208	383	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico Gleissólico.
		A	35 - 90			Irregular e clara	217	331	
Btg	95 - 130 ⁺	-	333			262			
-	-	-	-			-			

Fonte: Acervo Gerhi (2010).

Analisando a tabela 10, referente aos solos de cada parcela, pode-se perceber significativa diferença entre os mesmos. Na parcela com Sistema de plantio Convencional, onde se verificou o maior volume de água, verifica-se um solo sem a presença de um horizonte Btg, o qual tem como principal característica a transição abrupta do teor de argila entre dois horizontes, bem como apresenta um maior teor de argila.

Já na parcela com Plantio Direto, verifica-se a presença de um horizonte Btg, sendo que nesta parcela ocorreu a utilização de um volume de água aproximadamente 15% menor que na parcela com Plantio Convencional. Tanto quanto a presença do horizonte Btg nestes solos, o teor de argila nos respectivos solos também remete a possibilidade de interferência nos volumes totais utilizados.

A classificação de um solo em “Gleissolo Háptico” (parcela com plantio Convencional) o caracteriza como um solo com maior teor de areia que os planossolos, bem como com a presença de “canais de areia” dentro dos horizontes, os quais poderiam perfeitamente se portar como canais preferenciais de passagem da água. Supondo que os solos “gleissolos” possuam “canais preferenciais de condução de água”, este seria outro fator relevante no volume final utilizado em determinada parcela.

Outro fator importante a ser considerado na diferença de volumes obtida entre as parcelas é o Sistema de Plantio adotado em cada uma. Na parcela que utilizou maior quantidade de água, sistema com plantio Convencional, ocorre uma maior movimentação do solo do que ocorre na parcela com sistema de plantio Direto, onde foi verificado um menor volume irrigado. Portanto, este também pode ser um fator interferente no resultado final do volume de água necessário ao cultivo do arroz, devendo ser mais especificamente estudado e considerado em outras pesquisas.

4.3 Resultados do Monitoramento com Hidrômetros

Os resultados obtidos com o monitoramento do volume de irrigação nas Parcelas de arroz irrigado com Plantio Direto e Plantio Convencional, na área experimental do IRGA, por meio da utilização de Hidrômetros Velocimétricos,

atingiram resultados muito próximos daqueles obtidos com a utilização de Vertedores e com os dados verificados em literatura.

Conforme apresentado na tabela 11 a seguir, podemos verificar o volume de irrigação, monitorado pelo hidrômetro, bem como o volume total utilizado para cada parcela, através do somatório do volume de irrigação com o volume de Precipitação.

Já os dados completos com o monitoramento da safra 2009/2010 por meio dos Hidrômetros estão apresentados no “Anexo C” e “Anexo D”, com os dados das parcelas com sistemas de Plantio Convencional e Plantio Direto respectivamente.

Tabela 11 - Resultado do monitoramento com hidrômetros (safra 2009/2010).

Município	Sistema Hidráulico	Sistema de Plantio	Volume de irrigação (m ³ /ha.)	Precipitação (m ³ /ha.)	Drenagem (m ³ /ha.)	Volume total (m ³ /ha.)
Cachoeira do Sul	Hidrômetros Velocimétricos	Convencional	4193,750	5490	0	9683,750
		Plantio Direto	3110,606	5490	0	8600,606

Percebe-se de mesma maneira que nos resultados obtidos pelos Vertedores, que através dos hidrômetros foram monitorados valores significativamente diferentes de uma parcela para outra.

Sendo as parcelas monitoradas uma ao lado da outra, de pequena área, e supondo que as estruturas estão com valores similares e corretos, infere-se novamente que o fator “Solo” possa ser o principal responsável por esta variação no valor total do volume total utilizado. Ainda, não menos importante, o fator referente ao Sistema de Plantio de cada parcela pode também ter tido interferência direta sobre os volumes finais monitorados.

4.4 Análise Comparativa dos Sistemas Hidráulicos Monitorados

Os dois sistemas hidráulicos (Vertedores e Hidrômetros) utilizados nas parcelas monitoradas para determinação de vazão apresentaram resultados finais do monitoramento semelhantes, quando comparados dentro da mesma parcela, conforme pode ser verificado comparativamente na tabela 12.

Tabela 12 - Automonitoramento com vertedores e hidrômetros (Safrá 2009/2010).

Sistema de Plantio	Sistema Hidráulico	Volume irrigado (m ³ /ha)	Precipitação (m ³ /ha)	Volume total (m ³ /ha)	Varição (m ³ /ha.)	Varição (%)
Plantio Convencional	Vertedor	4.497,247	5.490	9.987,247	-303,497	-6,75*
	Hidrômetro	4.193,750	5.490	9.683,750		
Plantio Direto	Vertedor	3.075,148	5.490	8.565,148	35,458	1,15*
	Hidrômetro	3.110,606	5.490	8.600,606		

* Hidrômetro em relação ao vertedor.

Analisando a tabela 12, verifica-se uma diferença de aproximadamente trezentos e três metros cúbicos de água por hectare (303 m³/ha) monitorada a menos pelo Hidrômetro em relação ao vertedor no sistema de plantio convencional, o que corresponde a 6,75% a menos do volume monitorado com o vertedor.

Já no plantio direto, o monitoramento através do hidrômetro teve um volume aproximado de trinta e cinco metros cúbicos de água por hectare (35 m³/ha) a mais que o volume monitorado pelo vertedor, o qual corresponde a 1,15% a mais do volume total monitorado pelo vertedor.

Contudo, verifica-se com as diferenças apresentadas, uma homogeneidade dos dados dentro de cada parcela, ou seja, os sistemas hidráulicos mesmo com fatores interferindo individualmente, apresentaram resultados finais semelhantes. Esta situação nos leva a ter confiança na precisão dos valores encontrados quanto ao montante total de água necessário para o cultivo do arroz nas parcelas monitoradas.

Já a tabela 13 a seguir apresenta a diferença obtida entre as mesmas estruturas, porém nas diferentes parcelas monitoradas, mostrando que ocorreu uma diferença muito mais significativa entre as diferentes parcelas, que entre os diferentes sistemas quando utilizados em mesma parcela.

Tabela 13 - Diferença entre mesmas estruturas.

Município	Comparativo Sistemas Hidráulicos	Plantio Convencional	Plantio Direto	Diferença (m³/ha)	Diferença (%)
Cachoeira do Sul	Vertedores	9987,247	8565,148	1422,099	14,24
	Hidrômetros	9683,750	8600,606	1083,144	11,19

Verifica-se através dos dados apresentados na tabela 13, que através da utilização dos Vertedores, a diferença do volume de água utilizado nas parcelas com plantio direto e plantio convencional foi de aproximadamente 14,2%, enquanto que através da utilização de Hidrômetros a diferença no volume final foi de aproximadamente 11,2% entre as parcelas monitoradas.

Ainda comparando os dados monitorados pelos diferentes sistemas hidráulicos, podemos analisar também os dados diários monitorados nas diferentes parcelas, sendo os dados da parcela com plantio convencional apresentados conforme tabela 14, e os dados diários da parcela com plantio direto, segundo tabela 15.

Tabela 14 - Comparativo Diário - Plantio Convencional.

PLANTIO CONVENCIONAL				
Data	Vol. Vertedor	Vol. Hidrômetro	Diferença (%)	Diferença Média (%)
26/11/09	100,16	135,00	34,79	13,13
27/11/09	121,34	73,00	-39,84	
1/12/09	48,20	60,00	24,49	
9/12/09	257,89	248,00	-3,83	
16/12/09	205,45	178,00	-13,36	
21/12/09	267,47	274,00	2,44	
28/12/09	248,81	256,00	2,89	
30/12/09	138,84	148,00	6,60	
2/1/10	255,03	258,00	1,16	
4/1/10	161,73	162,00	0,17	
9/1/10	118,19	97,00	-17,93	
15/1/10	334,54	279,00	-16,60	
23/1/10	215,72	219,00	1,52	
25/1/10	221,05	204,00	-7,71	
29/1/10	278,79	237,00	-14,99	
3/2/10	221,05	206,00	-6,81	
10/2/10	231,61	186,00	-19,69	
11/2/10	171,93	135,00	-21,48	
3597,80m³		3355,00m³	-6,75%	
4497,25 m³/ha		4193,75 m³/ha		

Conforme apresentado na tabela 14, podemos comparar os valores diários do monitoramento entre o vertedor e o hidrômetro na parcela com sistema de plantio convencional. Como resultado final do monitoramento nesta parcela de arroz, foi verificada uma diferença de 6,75% no volume final monitorado entre os sistemas hidráulicos utilizados, mas no entanto, quando verificada a média das diferenças, verifica-se um erro médio de 13,13%, o que representa uma diferença significativa neste monitoramento.

No entanto, quando analisamos os dados individualmente, ou seja, diariamente, podemos verificar uma variação que varia de 39% a menos de volume monitorado pelo hidrômetro em relação ao vertedor (dia 27/11/2009), até uma variação de 34% a mais do volume do monitorado pelo Hidrômetro em relação ao vertedor (dia 01/12/2009) na parcela com plantio convencional.

Portanto, estas variações que vão de -39% até 34%, em dias distintos, podem ser consideradas como uma amplitude de variação total no monitoramento correspondente a 73% entre as estruturas na parcela com plantio convencional.

Tabela 15 - Comparativo Diário - Plantio Direto.

PLANTIO DIRETO				
Data	Vol. Vertedor	Vol. Hidrômetro	Diferença (%)	Diferença Média (%)
26/11/09	42,64	46,00	7,88	15,00
27/11/09	44,57	40,00	-10,26	
1/12/09	28,86	23,00	-20,30	
9/12/09	138,63	149,00	7,48	
16/12/09	110,44	61,00	-44,77	
21/12/09	91,27	98,00	7,38	
22/12/09	176,72	186,00	5,25	
24/12/09	148,23	160,00	7,94	
28/12/09	105,26	100,00	-4,99	
30/12/09	47,37	53,00	11,88	
2/1/09	107,89	121,00	12,15	
4/1/10	68,42	61,00	-10,84	
9/1/10	40,33	40,00	-0,81	
15/1/10	192,79	164,00	-14,93	
23/1/10	73,61	80,00	8,68	
25/1/10	123,29	119,00	-3,48	
29/1/10	160,66	129,00	-19,71	
3/2/10	103,97	190,00	82,75	
5/2/10	79,09	96,00	21,39	
10/2/10	68,62	62,00	-9,65	
11/2/10	76,96	75,00	-2,54	
	2029,60m³	2053,00m³	1,15%	
	3075,15m³/ha	3110,61m³/ha		

Já o sistema com plantio direto apresentou variações conforme pode ser visto na tabela 15, que vão de 44% a menos de volume monitorado pelo hidrômetro em relação ao vertedor (dia 16/12/2009), até uma variação de 82,75% a mais de volume monitorado pelo hidrômetro em relação ao volume monitorado pelo vertedor (dia 03/02/2010).

Nesta parcela, ao considerar a variação total ocorrida, o valor é ainda maior que no sistema com plantio convencional, ou seja, esta variação de -44% a 82% corresponderiam a uma amplitude de variação de 126% entre os sistemas hidráulicos nesta parcela.

Apesar do resultado final do monitoramento apresentar pequena diferença entre os sistemas hidráulicos em ambas as parcelas, ou seja, variação de 6,75% no plantio convencional e 1,15% no plantio direto, as variações diárias apresentaram valores relevantes a serem considerados, tendo sido verificado médias de erros de 13,13% e 15,00% para as parcelas com plantio convencional e direto respectivamente, bem como valores diários que alcançaram 39,84% e 82,75% também para as respectivas parcelas.

Estas diferenças verificadas diariamente entre os vertedores e os hidrômetros podem ter ocorrido devido a influencia de diferentes fatores, sendo que dentre eles podem ser destacados: alta quantidade de ar na água, principalmente na forma de “bolhas”, o que acarreta em uma super medição de volumes; presença de partícula em suspensão, folhas, galhos e pequenos peixes, que podem interferir no monitoramento do hidrômetro através da obstrução da turbina; a metodologia de implantação e o modelo dos hidrômetros, o que pode acarretar em submedições e/ou sobremedições de vazões; e a possibilidade da ocorrência de variações diárias de níveis, não verificadas pelos funcionários, que poderiam alterar os resultados dos vertedores.

Através dos testes de aferição, e também por meio dos relatos dos funcionários que trabalharam no monitoramento, verificou-se o mau funcionamento dos hidrômetros velocimétricos neste meio devido principalmente à presença de partículas em suspensão na água, presença de folhas, pequenos galhos, sedimentos e também pequenos peixes, sendo que hidrômetro pode apresentar trancamento tanto parcial quanto total de sua hélice devido a estes fatores.

Como visto anteriormente, quando ocorre o trancamento parcial dos hidrômetros, a turbina que realiza a medição estaria girando com impedimento e, portanto medindo valores errôneos de volume, ou seja, realizando submedições dos valores que realmente estão passando através da estrutura. Ainda, devido a alta quantidade de ar na água (bolhas), pode acarretar em sobremedição de volumes, bem como a presença de micro partículas na água (micro-pó), abordado anteriormente segundo Mello (2000), que também pode ocasionar sobremedição.

Já no caso de trancamento total do hidrômetro, a água continuaria a passar, no entanto não aconteceria o monitoramento desta água, sendo assim, o hidrômetro neste caso não realiza o monitoramento da água que esta passando. Ambas as situações, tanto de trancamento parcial quanto de trancamento total dos hidrômetros foram verificadas nos testes de aferição dos sistemas hidráulicos, conforme abordado anteriormente no Item 4.1.

Já a ocorrência de submedições e sobremedições devido ao mal dimensionamento dos hidrômetros também pode ter sido fator de suma importância para a grande variação diária entre os sistemas. Pois os hidrômetros utilizados apresentam como característica o monitoramento de vazões nominais de aproximadamente 230 m³/h (63,88 l/s) e de uma vazão mínima (Q_{min}) correspondente a 0,8 m³/h (0,22 l/s) sem apresentar grandes erros, sendo também importante salientar que a vazão de transição de 1,8 m³/h (0,5 l/s) corresponde a vazão a partir da qual o erro máximo admissível é de cinco por cento ($\pm 5\%$).

Considerando as características acima, e analisando os dados das tabela 16 e tabela 17, correspondente as vazões médias monitoradas durante a safra pelos hidrômetros nos sistemas de plantio direto e convencional respectivamente, verifica-se que em todos os dias de monitoramento as vazões médias dos hidrômetros foram superiores a vazão de transição, o que deveria remeter a erros máximos de cinco por cento. No entanto, apenas alguns dias de monitoramento ficaram dentro da faixa de erros admissíveis, situação esta que remete ao mal funcionamento dos hidrômetros.

Tabela 16 - Vazão Média do Hidrômetro – Plantio Direto.

Plantio Direto		
Data	Diferença entre sistemas(%)	Vazão Média Hidrômetro (m³/h)
26/11/09	7,88	10,2
27/11/09	-10,26	7,6
1/12/09	-20,30	10,2
9/12/09	7,48	16,6
16/12/09	-44,77	8,5
21/12/09	7,38	9,1
22/12/09	5,25	22,5
24/12/09	7,94	23,1
28/12/09	-4,99	10,0
30/12/09	11,88	9,5
2/1/09	12,15	11,8
4/1/10	-10,84	9,4
9/1/10	-0,81	8,4
15/1/10	-14,93	18,2
23/1/10	8,68	9,2
25/1/10	-3,48	17,6
29/1/10	-19,71	17,2
3/2/10	82,75	28,1
5/2/10	21,39	22,2
10/2/10	-9,65	7,7
11/2/10	-2,54	12,5

Tabela 17 - Vazão Média do Hidrômetro– Plantio Convencional.

Plantio Convencional		
Data	Diferença entre sistemas(%)	Vazão Média Hidrômetro (m³/h)
26/11/09	34,79	30,0
27/11/09	-39,84	13,9
1/12/09	24,49	26,7
9/12/09	-3,83	27,6
16/12/09	-13,36	24,8
21/12/09	2,44	25,5
28/12/09	2,89	25,6
30/12/09	6,60	26,5
2/1/09	1,16	25,2
4/1/10	0,17	24,9
9/1/10	-17,93	20,4
15/1/10	-16,60	31,0
23/1/10	1,52	25,3
25/1/10	-7,71	30,2
29/1/10	-14,99	31,6
3/2/10	-6,81	30,5
10/2/10	-19,69	23,0
11/2/10	-21,48	22,5

Ainda quanto ao dimensionamento dos Hidrômetros, verifica-se a que a pressão de serviço (PN) dos hidrômetros é de 16 bar (1,6 Mpa), o que em nenhum momento foi atingido, pois o escoamento ocorria de maneira “livre”, ou seja, não confinada e com pressão atuante sobre o fluxo de água muito abaixo da pressão de serviço dos hidrômetros utilizados, ou seja, a adução de água ocorria somente por gravidade e com baixa carga de água (aproximadamente 30cm).

Já quanto ao fator referente a metodologia de implantação dos Hidrômetros, percebeu-se uma pequena diferença quanto ao resultado final entre as parcelas, sendo que a parcela em que o hidrômetro foi instalado de maneira inadequada (sistema de plantio Convencional), com tubulação e hidrômetro com inclinação “para

baixo”, ocorreu uma diferença negativa do resultado do Hidrômetro quando comparado ao vertedor.

No entanto, na parcela em que o hidrômetro foi instalado de acordo com o fabricante (sistema de plantio direto), ou seja, com a tubulação em inclinação maior ou igual à horizontal e em direção ao fluxo para cima, o resultado obtido com o Hidrômetro, apesar de pequena diferença, foi maior que o obtido com o Vertedor.

Portanto, o fator instalação dos hidrômetros pode também ser considerado como interferente na variação de resultado dos sistemas, uma vez que a instalação de um dos equipamentos não estava de acordo com as especificações.

Quanto ao fator interferente no monitoramento dos Vertedores, ou seja, variações não perceptíveis no nível de água, não houve relatos por parte dos funcionários responsáveis quanto a variações do nível. Ainda quando testados através dos sensores automáticos, verificou-se que o nível se mantém constante nos canais das parcelas monitoradas, o que não corresponderia, portanto, a erros de medição pelos vertedores.

4.5 Análise das Metodologias de monitoramento com Hidrômetros

Os hidrômetros velocimétricos utilizados foram implantados de maneiras distintas em cada parcela monitorada. Foi verificada uma pequena variação do volume entre as parcelas e possivelmente devido as metodologias de implantação dos hidrômetros.

No sistema de plantio direto, o hidrômetro velocimétrico utilizado foi instalado de acordo com as recomendações técnicas pertinentes a este tipo de sistema hidráulico. Já no sistema de plantio convencional, o hidrômetro foi instalado conforme utilização usual em canais de terra, ou seja, conforme utilizado em pesquisas anteriores neste mesmo meio.

Pode ser verificado conforme tabela 18, que quando comparado o vertedor com o hidrômetro nos diferentes sistemas de plantio, a maior diferença ocorreu no plantio convencional, ou seja, no sistema em que o hidrômetro não foi instalado conforme recomendações técnicas.

Tabela 18 - Comparativo entre as Metodologias de Implantação dos Hidrômetros.

Comparação	Método de preparo e semeadura	Diferença no Volume Total de água de irrigação (m ³ /ha.)	Diferença (%)	Metodologia
Hidrômetros Velocimétricos	Convencional	303,497	-6,7485*	“Saída Livre”
	Plantio Direto	35,4583	1,1531*	“Saída Afogado” (Conforme Fabricante)

* Em relação ao vertedor.

Ainda na tabela 18, podem ser visto os valores tanto absolutos em metros cúbicos por hectare quanto em porcentagem da diferença, verificada entre as diferentes metodologias aplicadas aos hidrômetros.

No plantio convencional, verificou-se uma diferença de volume de água monitorado aproximadamente 6,75% menor do hidrômetro em relação ao valor encontrado pelo vertedor, ou seja, o hidrômetro monitorou menor quantidade de água que o vertedor.

Já no plantio direto, a diferença entre o hidrômetro e o vertedor foi de apenas 1,15%, mas, no entanto, neste caso o hidrômetro monitorou maior quantidade de água que o vertedor.

Apesar da diferença encontrada, não se pode dar certeza quanto ao motivo desta, ou seja, a diferença encontrada entre as diferentes metodologias utilizadas nos Hidrômetros não foi significativamente grande para que se possa afirmar que foi a metodologia de implantação dos hidrômetros a responsável pela diferença nos resultados.

Outros fatores, atuando tanto isoladamente quanto conjuntamente, ainda podem ser considerados responsáveis por estas diferenças, como no caso da presença de partículas na água, que afeta o funcionamento dos Hidrômetros, ou através de variações diárias de nível não constatadas pelos funcionários

responsáveis, podendo interferir no monitoramento dos vertedores, como abordado anteriormente.

5 CONCLUSÕES

O teste experimental desenvolvido em lavouras orizícolas para verificação da viabilidade da utilização de vertedores de parede delgada e hidrômetros velocimétricos (taquimétricos), apresentou resultados que verificam a viabilidade de monitoramento de água em lavouras orizícolas, e que, portanto, podem contribuir com a gestão dos recursos hídricos, principalmente quanto aos processos de outorga de água. Sendo que o estudo comparativo entre os diferentes sistemas hidráulicos através da metodologia do automonitoramento respondeu as questões diretamente estudadas, bem como induziu a necessidade de novas pesquisas, as quais geraram e gerarão novos estudos experimentais.

O objetivo de determinar o volume total de água utilizado em lavouras orizícolas foi atingido. Os resultados obtidos são compatíveis com dados verificados na literatura. Foram ainda verificadas significativas diferenças de valores (resultados) entre as diferentes parcelas monitoradas, o que remete a uma importância ainda maior do monitoramento individual dos volumes de água de irrigação por parcela. Já dentro das mesmas parcelas, os resultados obtidos comparativamente entre os diferentes sistemas hidráulicos foram semelhantes, aumentando as certezas quanto ao valor final monitorado.

Para a determinação de diferença de volumes entre as parcelas com a utilização de diferentes sistemas hidráulicos, foram verificados através do resultado final uma variação 1,15% no plantio direto e 6,75% no plantio convencional entre os hidrômetros velocimétricos e os vertedores de parede delgada, que não foram diferenças significativas quanto a montante total utilizado.

No entanto, quando considerados os dados diários do monitoramento, foram verificadas variações consideráveis entre as estruturas, os quais alcançaram 82,75% na parcela com plantio direto e 39% na parcela com plantio convencional.

Estas diferenças diárias verificadas podem ter ocorrido por diversos fatores, principalmente referentes aos hidrômetros, uma vez que estes são de extrema sensibilidade tanto à presença de partículas na água (qualidade da água), quanto as variações de vazões e presença de grande quantidade de ar na água, que podem causar tanto submedições quanto sobremedições dos volumes. Ainda outro fator

não menos importante é faixa de vazões que os hidrômetros mediram, ou seja, os hidrômetros monitoraram vazões muito abaixo da vazão nominal.

Os vertedores também poderiam ter monitorado valores menores ou maiores, uma vez que pudessem ter ocorrido variações não monitoradas do nível de água no canal de irrigação. No entanto, através dos testes de aferição verificou-se que o nível dos canais não oscilava durante o período de irrigação nesta localidade, não acarretando em variação de medição por parte dos vertedores, sendo que em canais onde exista grande flutuação diária do nível de água, existe a necessidade de um número maior de anotações do nível da água, o que pode se tornar oneroso para os produtores.

Com isto, pode-se ter confiança quanto aos resultados monitorados pelos vertedores, já que estes são dependentes apenas do nível da água passante, não sendo sensíveis a outros fatores, como qualidade da água e presença de partículas.

Quanto ao objetivo de verificação da viabilidade de implantação, manutenção e operação dos vertedores e hidrômetros, constatou-se que a utilização de vertedores de parede delgada com contração lateral, apresenta grande vantagem de utilização em relação aos hidrômetros velocimétricos.

As metodologias de implantação se mostraram bastante diferente quando comparadas. A implantação dos vertedores ocorre de forma bastante simples, uma vez que necessitam apenas estar devidamente engastados para não ocorrer passagem lateral de água, e que tenham também altura da soleira suficiente para verter a água, o que os habilita a serem também implantados facilmente em canais de terra. Isto, desde que se tenha altura suficiente no canal para suportar o barramento de água gerado pelo vertedor, uma vez que são estruturas inseridas perpendicularmente ao fluxo.

Quanto aos hidrômetros, a implantação ocorre de forma mais complexa, pois estes necessitam tubulação de entrada, com água já estabilizada, e proteções (filtros) para tentar evitar ao máximo a entrada de partículas.

Quanto à manutenção das estruturas, de mesmo modo que a implantação, os vertedores apresentam pequena ou nenhuma manutenção durante o monitoramento, enquanto que os hidrômetros necessitam limpeza diária, sendo geralmente realizada abertura e limpeza da turbina mais de uma vez ao dia, devido à presença de partículas na água.

A operação e monitoramento das estruturas ocorrem de forma simplificada para ambas, ou seja, basta permitir a passagem de água pelas estruturas e anotar diariamente os valores dos níveis, no caso dos vertedores. Para os hidrômetros, a marcação do volume que passa pela estrutura é automática, e pode ser anotada diariamente ou somente ao final do monitoramento.

Ainda, se comparados os diferentes sistemas hidráulicos, hidrômetro e vertedor, e levado em consideração o custo, os Vertedores são mais viáveis que os hidrômetros, pois o valor de um vertedor como os utilizados é de aproximadamente cem reais, enquanto que um hidrômetro como os utilizados custa aproximadamente cinco mil reais.

No objetivo de determinação das dificuldades encontradas na utilização dos diferentes sistemas hidráulicos através do monitoramento de águas de irrigação (automonitoramento), as principais dificuldades recaem principalmente sobre os hidrômetros. Isto ocorre devido principalmente à qualidade das águas de irrigação, que neste caso é repleta de partículas em suspensão e sedimentos, que interferem no adequado monitoramento pelos hidrômetros, ou seja, causam a obstrução dos mesmos, e assim necessitam de monitoramento e limpeza contínua.

Nos vertedores de parede delgada e com contração lateral, a dificuldade da utilização encontra-se na necessidade da anotação diária (pelo menos duas vezes ao dia) do nível de água no canal, bem como a necessidade de verificação de variações do nível do canal de irrigação durante a irrigação. Quanto ao objetivo de testar a instalação dos hidrômetros com diferentes metodologias, verificou-se uma pequena diferença, porém significativa.

No plantio convencional, onde o hidrômetro foi instalado com a tubulação de saída vertendo livre e adução de água por gravidade, no qual podia funcionar com a tubulação não estando completamente cheia (situação usual quando utilizado em pesquisas em canais de terra e verificado em literatura), ocorreu um monitoramento 6,75% menor que o do vertedor na mesma parcela, ou seja, devido principalmente a submedições do hidrômetro.

Já no plantio direto, onde o hidrômetro foi utilizado “afogado”, ou seja, sempre funcionou com a tubulação completamente cheia, mas também com adução de água por gravidade, houve um monitoramento 1,15% maior do hidrômetro que o vertedor. Esta situação remete então à necessidade de correta utilização dos hidrômetros, ou seja, que funcionem sempre com a tubulação completamente cheia.

Portanto, valida-se ainda a implantação do sistema de automonitoramento, pois verificou-se que os vertedores de parede delgada, são estruturas viáveis de serem utilizadas através do automonitoramento em canais tanto regulares de irrigação, quanto em canais não regulares, ou seja, em canais abertos de terra com declividades e profundidades variadas, desde que apresentem profundidades suficientes para suportar o barramento de água.

No entanto, com todas as análises realizadas não se recomenda a utilização de hidrômetros neste meio, uma vez que são equipamentos extremamente sensíveis tanto a qualidade da água, quanto ao monitoramento de pequenas vazões.

Contudo, a necessidade de um monitoramento em grande escala, individualmente por lavoura, torna o vertedor de parede delgada um instrumento viável de monitoramento e gestão dos recursos hídricos. Uma vez necessária à outorga e/ou cobrança da água, este tipo de estrutura se torna uma ferramenta de quantificação dos volumes de água utilizados nas lavouras e podendo ser monitorada pelos próprios produtores rurais, validando desta maneira o sistema de automonitoramento.

Porém, é importante salientar que estes volumes de monitoramento são os utilizados somente na parcela, e que portanto não representa o volume total a ser outorgado, dado que existem perdas da captação até o local de entrada de água nas lavouras.

6 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a partir deste estudo, que mesmo em parcelas vizinhas sejam realizadas medições individuais dos volumes necessários nas lavouras orizícolas, uma vez que nas parcelas de pequeno porte e uma ao lado da outra, monitoradas neste estudo, foram encontradas significativas diferenças de volume, o que remete para a necessidade de criação de um banco de dados dos volumes utilizados nas lavouras. O banco de dados fornecerá subsídios para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

A utilização de vertedores de parede delgada com contração lateral também é recomendada para o monitoramento de volume de água em lavouras, pois estas estruturas têm baixo custo de aquisição e são fáceis de serem instaladas e monitoradas, não necessitando de mão de obra especializada. Outro fator importante na utilização de vertedores é a facilidade de determinação das vazões, que necessita apenas do nível de água para o cálculo.

Ainda quanto à utilização de vertedores, sugere-se um estudo prévio das condições dos canais de irrigação, para verificação da existência de profundidade suficiente para suportar o barramento de água causado pelos vertedores.

Para o monitoramento em canais com muitas derivações de água, e com variações perceptíveis do nível de água, recomenda-se que seja feito o maior número possível de anotações do nível de água, para que desta maneira se possa alcançar a maior precisão possível nos volumes totais monitorados pelos vertedores.

Já como abordado anteriormente, não se recomenda a utilização de Hidrômetros para determinação de volumes em canais de irrigação, uma vez que são estruturas sensíveis a variações de vazões e partículas em suspensão na água.

Dado que a medição de água na entrada das parcelas na lavouras não representa a totalidade da água necessária para a outorga, sugere-se continuidade de pesquisa em automonitoramento, incluindo as medições no trajeto desde a captação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acervo GERHI – Grupo de Pesquisas de Gestão de Recursos Hídricos – Departamento de Hidráulica e Saneamento – HDS – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2011.

Alves, W. C., Peixoto, J. B., Sanchez, J. G, Leite, S. R. “**Micromedição. Documento Técnico de Apoio nº D3**”. Ministério das Cidades. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília, DF, 171 p. (2004).

BRASIL. **Código das Águas**. Decreto n º 24.643, de 10 de julho de 1934. <<http://www.mma.gov.br/port/srh/estagio/legislacao/codigo.html>>.

BRUNELLI, J.; FARIAS, M. M. **Perda de Medição Devido ao Posicionamento Inclinado de Hidrômetros**. Safe Water. Rio de Janeiro, Brasil. 2006.

CARVALHO, W. F., **Medição Individualizada de Água em Apartamentos**. Monografia, UFMG. Belo Horizonte, MG. 2010.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; ZANETONI, L. P.; **Estimativas de Chuvas usando Pluviômetros Plásticos**. Comunicado Técnico, 75. Embrapa 2007.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. **Disponibilidade hídrica para outorga em bacias com elevado uso consuntivo (i): avaliação por SHR**. Volume 4 nº 2 (jul/dez/2007). REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 4, p. 51-64, 2007.

EMBRAPA. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em: < [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigado Brasil/index.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/index.htm)>.

FURTADO, D. A.; KONIG, A. **Gestão Integrada dos Recursos Hídricos**. 1.ed. Campina Grande, PB. Gráfica Agenda, 115p. 2008.

GOMES, A. S.; MAGALHÃES, E. A. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. 21. ed. Brasília, DF. Embrapa Informações Tecnológica, 899p, 2004.

HERNANDEZ, M. G. R.; CARLESSO, R.; ROBAINA, A. D. **Consumo e eficiência do uso da água e componentes de rendimento do arroz irrigado**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 413-418, 1997.

IRGA - **Instituto Riograndense do Arroz**. 2002. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20060626143337.pdf>>. Acesso em: 15 Maio 2010.

LENCASTRE, A., **Manual de Hidráulica geral**. São Paulo. Edgard Blucher, Ed. Da Universidade de São Paulo. 1972.

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

MACHADO, S. L, de 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, 2006.

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**. (2005). Informe Técnico Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, RS. n. 3. 10 p. In: Levantamento bibliográfico do uso de água na cultura de arroz irrigado 1997-2006. CD-ROM.

MARCOLIN, E. e MACEDO V. R. M. **Consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado**. (2001). In: Levantamento bibliográfico do uso de água na cultura de arroz irrigado 1997-2006. CD-ROM.

MARCOLIN, E.; MACEDO V. R. M.; GENRO JUNIOR S. A. **Volume de água usado na lavoura de arroz em função das épocas de início de irrigação por inundação**. IV Reunião Sul-brasileira de ciência do solo, Santa Maria. Anais do 4º Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. v. 1. p. 365-367. 2005.

MARCOLIN, Elio ; MACEDO, V. R. M. ; MENEZES, V. G.; TRONCHONI, J. G.; JAEGER, R. L.; FONSECA, É. **Uso de água em duas lavouras comerciais de arroz irrigado por inundação no RS**. V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado e XXVII Reunião da Cultura de Arroz Irrigado, Pelotas. v. 1. p. 477-479. 2007.

MEIRELLES, F. S. C. **Cobrança por volume em sistemas coletivos de irrigação como instrumento de gestão da água**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e

Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2009.

MELLO, E. J. **As perdas não físicas e o posicionamento do medidor de água.** Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. 2000.

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

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 – v.4, n.3. set- dez, 2000.

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

RIGHES, A. A. **Água: sustentabilidade, uso e disponibilidade para a irrigação.** Ciência & Ambiente, Santa Maria, v.11, n.21, p.90-102, 2000.

RIZZO, A., PEARSON, D., STEPHENSON, M. e HARPER, N. **Apparent water loss control: a practical approach.** Water 2, IWA publishing, junho, 44-45 p. 2004.

SACHET, Z. P. **Consumo de água de duas cultivares de arroz (Oryza sativa L.) em três tratamentos de irrigação.** 96f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada Irrigação e Drenagem) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 1977.

SILVA, N. R. **Estudos de Metodologias para Avaliação de Submedição de Hidrômetros Domiciliares em Sistemas de Água.** Dissertação de Mestrado, UnB. Distrito Federal. 2008.

SOSBAI, Arroz irrigado: **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil.** Sociedade Sul-Brasileira de arroz irrigado; IV Congresso Brasileiro de arroz irrigado, XXVI Reunião da cultura do arroz irrigado - Santa Maria. 159p. 2005.

TUBELIS, A; NASCIMENTO, F. J. L; **Meteorologia Descritiva: fundamento e aplicações brasileiras.** 1ºed. São Paulo, ed. Nobel. 374p. 1937.

UFSM/CNPq. **Diferença no Uso da Água entre Sistemas de Manejo em Lavouras Orizícolas com Auxílio do Sistema de Automonitoramento.** Relatório Final. Convênio MCT/CNPq/CT-HIDRO/SEAP – PR n0. 35/2007. Santa Maria. 2007.

UFSM/FINEP. **Metodologia para Iniciar a Implantação de Outorga em Bacias Carentes de Dados de Disponibilidade e Demanda – IOGA – Bacia do rio Ibicuí.** Relatório Técnico. Convênio FINEP/CT-Hidro/FATEC/HDS-UFSM. Santa Maria, 3 vol. Conv. 01.04.0056.00. 2005.

UFSM/FINEP. **Implantação Plena da outorga: Análise das condições de contorno ao balanço hídrico em sistema de apoio a decisão, em bases socialmente sustentáveis – SIOGA – Bacia do Rio Ibicuí.** Relatório Final. Convênio FNDCT/CT-Hidro/FATEC/HDS-UFSM. Santa Maria, 3 vol. Conv. 01.04.0950.0. 2007.

UFSM/SEMA. **Desenvolvimento das ações de apoio necessárias à implantação da outorga de uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.** Rel. Técnico 1. Santa Maria, UFSM, 186 p. 2003.

ANEXOS

Anexo A – Dados do monitoramento com vertedor no plantio convencional.

Método de Preparo e Semeadura Convencional							
Sistema de condução da água: (x) Gravidade () Bombeamento							
Forma de Abastecimento: () Rio (x) Barragem () Outros: _____							
Anotador: João Carlos Município: Cachoeira do Sul - Capané							
Vertedor Triangular de Soleira Delgada / $\alpha = 45^\circ$							
Data	Hora	Nível (m)	Observações	Nível Médio	Tempo(h)	Vazão (m3/s)	Volume (m³)
26/11/09	14:30	0,16	Abertura	0,1625	4,5	0,0062	100,1579706
26/11/09	19:00	0,165	Fechamento				
27/11/09	13:45	0,17	Abertura	0,165	5,25	0,0064	121,3416332
27/11/09	19:00	0,16	Fechamento				
1/12/09	15:05	0,16	Abertura	0,16	2,25	0,0060	48,19745045
1/12/09	17:20	0,16	Fechamento				
9/12/09	08:45	0,18	Abertura	0,18	9,00	0,0080	257,8877941
9/12/09	17:45	0,18	Fechamento				
16/12/09	10:50	0,18	Abertura	0,18	7,17	0,0080	205,4506093
16/12/09	18:00	0,18	Fechamento				
21/12/09	08:30	0,17	Abertura	0,17	10,75	0,0069	267,4745653
21/12/09	19:15	0,17	Fechamento				
28/12/09	08:15	0,17	Abertura	0,17	10,00	0,0069	248,8135491
28/12/09	18:15	0,17	Fechamento				
30/12/09	14:40	0,17	Abertura	0,17	5,58	0,0069	138,8379604
30/12/09	20:15	0,17	Fechamento				
2/1/09	08:30	0,17	Abertura	0,17	10,25	0,0069	255,0338878
2/1/10	18:45	0,17	Fechamento				
4/1/10	09:30	0,17	Abertura	0,17	6,50	0,0069	161,7288069
4/1/10	16:00	0,17	Fechamento				
9/1/10	08:45	0,17	Abertura	0,17	4,75	0,0069	118,1864358
9/1/10	13:30	0,17	Fechamento				
15/1/10	08:30	0,2	Abertura	0,2	9,00	0,0103	334,5428782
15/1/10	17:30	0,2	Fechamento				
23/1/10	08:35	0,17	Abertura	0,17	8,67	0,0069	215,7213471
23/1/10	17:15	0,17	Fechamento				
25/1/10	11:45	0,19	Abertura	0,19	6,75	0,0091	221,0499176
25/1/10	18:30	0,19	Fechamento				
29/1/10	09:20	0,2	Abertura	0,2	7,50	0,0103	278,7857318
29/1/10	16:50	0,2	Fechamento				
3/2/10	08:15	0,19	Abertura	0,19	6,75	0,0091	221,0499176
3/2/10	15:00	0,19	Fechamento				
10/2/10	07:25	0,18	Abertura	0,18	8,08	0,0080	231,6118933
10/2/10	15:30	0,18	Fechamento				
11/2/10	08:15	0,18	Abertura	0,18	6,00	0,0080	171,9251961
11/2/10	14:15	0,18	Fechamento				
Total (m³) =						3597,798	
Total (m³/ha) =						4497,247	

Anexo B – Dados do monitoramento com vertedor no plantio direto.

Método de Preparo e Semeadura PLANTIO DIRETO							
Sistema de condução da água: (x) Gravidade () Bombeamento							
Forma de Abastecimento: () Rio (x) Barragem () Outros: _____							
Anotador: João Carlos Município: Cachoeira do Sul - Capané							
Vertedor Triangular de Soleira Delgada / $\alpha = 45^\circ$							
Data	Hora	Nível (m)	Observações	Nível Médio	Tempo(h)	Vazão (m³/s)	Volume (m³)
26/11/09	14:30	0,1	Abertura	0,115	4,5	0,0026	42,63844617
26/11/09	19:00	0,13	Fechamento				
27/11/09	13:45	0,11	Abertura	0,11	5,25	0,0024	44,57223648
27/11/09	19:00	0,11	Fechamento				
1/12/09	15:05	0,14	Abertura	0,13	2,25	0,0036	28,85943262
1/12/09	17:20	0,12	Fechamento				
9/12/09	08:45	0,14	Abertura	0,14	9,00	0,0043	138,6257625
9/12/09	17:45	0,14	Fechamento				
16/12/09	10:50	0,14	Abertura	0,14	7,17	0,0043	110,4385241
16/12/09	18:00	0,14	Fechamento				
21/12/09	08:30	0,11	Abertura	0,11	10,75	0,0024	91,26696041
21/12/09	19:15	0,11	Fechamento				
22/12/09	08:45	0,16	Abertura	0,16	8,25	0,0060	176,723985
22/12/09	17:00	0,16	Fechamento				
24/12/09	08:30	0,16	Abertura	0,16	6,92	0,0060	148,2339365
24/12/09	15:25	0,16	Fechamento				
28/12/09	08:15	0,12	Abertura	0,12	10,00	0,0029	105,2550321
28/12/09	18:15	0,12	Fechamento				
30/12/09	14:40	0,11	Abertura	0,11	5,58	0,0024	47,37391991
30/12/09	20:15	0,11	Fechamento				
2/1/10	08:30	0,12	Abertura	0,12	10,25	0,0029	107,8864079
2/1/10	18:45	0,12	Fechamento				
4/1/10	09:30	0,12	Abertura	0,12	6,50	0,0029	68,41577086
4/1/10	16:00	0,12	Fechamento				
9/1/10	08:45	0,11	Abertura	0,11	4,75	0,0024	40,32726158
9/1/10	13:30	0,11	Fechamento				
15/1/10	08:30	0,16	Abertura	0,16	9,00	0,0060	192,7898018
15/1/10	17:30	0,16	Fechamento				
23/1/10	08:35	0,11	Abertura	0,11	8,67	0,0024	73,60786481
23/1/10	17:15	0,11	Fechamento				
25/1/10	11:45	0,15	Abertura	0,15	6,75	0,0051	123,2861734
25/1/10	18:30	0,15	Fechamento				
29/1/10	09:20	0,16	Abertura	0,16	7,50	0,0060	160,6581682
29/1/10	16:50	0,16	Fechamento				
3/2/10	08:15	0,14	Abertura	0,14	6,75	0,0043	103,9693218
3/2/10	15:00	0,14	Fechamento				

Método de Preparo e Semeadura PLANTIO DIRETO							
Sistema de condução da água: (x) Gravidade () Bombeamento							
Forma de Abastecimento: () Rio (x) Barragem () Outros: _____							
Anotador: João Carlos Município: Cachoeira do Sul - Capané							
Vertedor Triangular de Soleira Delgada / $\alpha = 45^\circ$							
Data	Hora	Nível (m)	Observações	Nível Médio	Tempo(h)	Vazão (m³/s)	Volume (m³)
5/2/10	14:15	0,15	Abertura	0,15	4,33	0,0051	79,08579715
5/2/10	18:35	0,15	Fechamento				
10/2/10	07:25	0,11	Abertura	0,11	8,08	0,0024	68,62426428
10/2/10	15:30	0,11	Fechamento				
11/2/10	08:15	0,13	Abertura	0,13	6,00	0,0036	76,95848699
11/2/10	14:15	0,13	Fechamento				
Total (m³) =						2029,598	
Total (m³/ha) =						3075,149	

Anexo C – Dados do monitoramento com hidrômetro no plantio convencional.

PLANTIO CONVENCIONAL			
Município: Cachoeira do Sul - Capané			
Anotador: João Carlos			
Hidrômetro Velocimétrico			
Data	Observações	Vol. Parcial	Vol. Hidrômetro (m³)
26/11/09	Abertura	23920	135
26/11/09	Fechamento	24055	
27/11/09	Abertura	24055	73
27/11/09	Fechamento	24128	
1/12/09	Abertura	24128	60
1/12/09	Fechamento	24188	
9/12/09	Abertura	24188	248
9/12/09	Fechamento	24436	
16/12/09	Abertura	24436	178
16/12/09	Fechamento	24614	
21/12/09	Abertura	24614	274
21/12/09	Fechamento	24888	
28/12/09	Abertura	24888	256
28/12/09	Fechamento	25144	
30/12/09	Abertura	25144	148
30/12/09	Fechamento	25292	
2/1/09	Abertura	25292	258
2/1/10	Fechamento	25550	
4/1/10	Abertura	25550	162
4/1/10	Fechamento	25712	
9/1/10	Abertura	25712	97
9/1/10	Fechamento	25809	
15/1/10	Abertura	25809	279
15/1/10	Fechamento	26088	
23/1/10	Abertura	26088	219
23/1/10	Fechamento	26307	
25/1/10	Abertura	26307	204
25/1/10	Fechamento	26511	
29/1/10	Abertura	26511	237
29/1/10	Fechamento	26748	
3/2/10	Abertura	26748	206
3/2/10	Fechamento	26954	
10/2/10	Abertura	26954	186
10/2/10	Fechamento	27140	
11/2/10	Abertura	27140	135
11/2/10	Fechamento	27275	
		Total (m³) =	3355
		Total (m³/ha) =	4193,750

Anexo D – Dados do monitoramento com hidrômetro no plantio direto.

PLANTIO DIRETO			
Município: Cachoeira do Sul - Capané			
Anotador: João Carlos			
Hidrômetro Velocimétrico			
Data	Observações	Vol. Parcial	Vol. Hidrômetro (m³)
26/11/09	Abertura	59636	46
26/11/09	Fechamento	59682	
27/11/09	Abertura	59682	40
27/11/09	Fechamento	59722	
1/12/09	Abertura	59722	23
1/12/09	Fechamento	59745	
9/12/09	Abertura	59745	149
9/12/09	Fechamento	59894	
16/12/09	Abertura	59894	61
16/12/09	Fechamento	59955	
21/12/09	Abertura	59955	98
21/12/09	Fechamento	60053	
22/12/09	Abertura	60053	186
22/12/09	Fechamento	60239	
24/12/09	Abertura	60239	160
24/12/09	Fechamento	60399	
28/12/09	Abertura	60399	100
28/12/09	Fechamento	60499	
30/12/09	Abertura	60499	53
30/12/09	Fechamento	60552	
2/1/09	Abertura	60552	121
2/1/10	Fechamento	60673	
4/1/10	Abertura	60673	61
4/1/10	Fechamento	60734	
9/1/10	Abertura	60734	40
9/1/10	Fechamento	60774	
15/1/10	Abertura	60774	164
15/1/10	Fechamento	60938	
23/1/10	Abertura	60938	80
23/1/10	Fechamento	61018	
25/1/10	Abertura	61018	119
25/1/10	Fechamento	61137	
29/1/10	Abertura	61137	129
29/1/10	Fechamento	61266	
3/2/10	Abertura	61266	190
3/2/10	Fechamento	61456	

PLANTIO DIRETO			
Município: Cachoeira do Sul - Capané			
Anotador: João Carlos			
Hidrômetro Velocimétrico			
Data	Observações	Vol. Parcial	Vol. Hidrômetro (m³)
5/2/10	Abertura	61456	96
5/2/10	Fechamento	61552	
10/2/10	Abertura	61552	62
10/2/10	Fechamento	61614	
11/2/10	Abertura	61614	75
11/2/10	Fechamento	61689	
Total (m³) =			2053,00
Total (m³/ha) =			3110,606