

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÓDICOS

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

*Glauco de Oliveira da Luz¹ & Jussara Cabral Cruz²; Flávio Luiz Foleto Eltz³; Raquel
Paula Lorensi⁴*

Resumo - Este artigo tem o objetivo de apresentar o resultado do estudo comparativo de dois sistemas hidráulicos, vertedor de parede delgada e hidrômetro velocimétrico, utilizados para quantificação de volumes de água na irrigação do arroz, instalados em canais de irrigação. Foram testados dois métodos de instalação dos hidrômetros, para determinação dos volumes irrigados na safra 2009/2010. Foram monitoradas duas parcelas experimentais, localizadas no município de Cachoeira do Sul, RS, onde em cada parcela foram instalados em série um vertedor triangular de parede delgada e um hidrômetro velocimétrico. Verificaram-se diferenças entre os volumes totais de 1,15% e 6,75% entre os sistemas hidráulicos vertedor e hidrômetro. Entretanto, verificaram-se diferenças diárias máximas de 82% e 39% em cada parcela, bem como diferenças médias de 15% e 13% durante todo período de irrigação. A análise dos resultados mostra que o uso dos hidrômetros não é satisfatório neste meio, mas também remete para necessidade de adequada capacitação do pessoal que realiza o monitoramento.

Abstract - This paper aims to present the results of the comparative study of two hydraulics systems, sharp crested weirs and velocimetric hydrometers, used to quantify the water volumes in rice irrigation, installed in irrigation channels. Were tested two methods of hydrometers installation, to determine the irrigation volumes in the harvest 2009/2010. Two experimental parcels located in Cachoeira do Sul county, RS, were monitored, in each parcel were installed in sequence one sharp crested weir in triangle form and one velocimetric hydrometer. Were checked differences between the total volumes of 1.15% and 6.75% between the hydraulic systems weir and hydrometer. However, were verified daily maximum variations of 82% and 39% in each parcel, as well as mean difference of 15% and 13% during the whole irrigation period. The analysis of the results shows that use of hydrometers is not satisfactory in that kind of use, and also show the necessity of the right training of the people that do the monitoring.

Palavras-Chave – Volume de irrigação, vertedores de parede delgada, hidrômetros.

1 Msc. Engenharia Civil – PPGEC / UFSM: Avenida Helvio Basso 1175, 97070-805, 55-99579455, Santa Maria, RS. E-mail: gl.luz@terra.com.br

2 Prof. Associada, Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental CT/UFSM. Campus Camobi, Santa Maria-RS E-mail: jussaracruz@gmail.com

3 Prof. Titular do Depto de Solos, CCR/UFSM. Campus de Camobi, Santa Maria-RS E-mail: flavioeltz@gmail.com

4 Profº URI, Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Erechim, RS. E-mail: raquelorensi@uricer.edu.br

1. INTRODUÇÃO

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 existem 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).

Dentre as principais culturas irrigadas, dada a grande quantidade de água exigida para sua produção, a lavoura de arroz provoca muitas discussões sobre a necessidade de regulação do uso da água e principalmente sobre quais quantidades são realmente gastos durante o ciclo produtivo (UFSM/CNPq, 2007). Somando-se a esse fato, em estudo realizado por Fisher (2006, apud Meirelles 2009) no ano de 2005, verificou-se que a área destinada ao cultivo de arroz irrigado já alcançava aproximadamente 1.039.421 hectares, sendo o Rio Grande do Sul o estado brasileiro que apresenta maior área irrigada.

A outorga de direito de uso da água é o principal instrumento de gestão dos recursos hídricos (BR, 1997; RS, 1994) e consiste na licença emitida pelo Estado para que o usuário possa utilizar volume de água para atender suas necessidades e ainda tem o objetivo de racionalizar o uso das águas, evitando assim situações de conflito (Cruz e Silveira 2007).

Para implementar um gerenciamento efetivo de recursos hídricos, não cartorial, visando harmonizar e solucionar conflitos resultantes do uso intensivo da água, no caso da outorga de direito de uso das águas para irrigação de lavouras, principalmente as orizícolas, 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. Para que isso seja possível, a equipe que desenvolveu estudos para implementação plena do instrumento de outorga (UFSM/FINEP, 2005), sugeriu a adoção de automonitoramento, para gerar um banco de dados de valores de água realmente utilizados e, com isso, adequar os valores outorgados com os realmente utilizados nas lavouras pelos produtores durante a irrigação.

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) 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)

Os resultados citados na literatura (Tabela 1) demonstram uma diferença significativa nos valores finais de volume utilizados nas lavouras orizícolas em diferentes estudos, com medições ou estimativas. Esta variação de valores considerados para 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, em função dos métodos de irrigação e também dos tipos de solos.

Tabela 1. Volumes monitorados em lavouras orizícolas.

Referência Bibliográfica	Volume (m ³ /ha.safra)	Característica
Gomes e Magalhães (2004)*	12.000	Valores médios para 80 a 100 dias
Hernandez et al. (1997)*	6.512 e 6.263	Variando Início de irrigação - P. Convencional
Motta et al. (1990)**	9.000 a 12.000	Estimativa por meio de Evapotranspiração
Marcolin et al. 2005*	7.894 a 8.754	Variando Início de Irrigação
Machado et al (2006)*	5.431 a 6.422	Peq. parcelas experimentais (safra 2000/2001) monitoradas com Hidrômetros
	5.374 a 5.852	Peq. parcelas experimentais (safra 2001/2002) monitoradas com Hidrômetros
Marcolin e Macedo (2001)*	7.856	Média de 5 anos – P. Convencional, monitoramento com hidrômetros
	7.145	Média de 5 anos – P. Direto, monitoramento com hidrômetros
	6.271	Média de 5 anos – P. Pré-Germinado, monitoramento com hidrômetros
Marcolin et al. (2007)*	7.706	Monitoramento com Comportas (Camaquã)
	8.606	Monitoramento com Hidrômetros (St. Ant. da Patrulha)
Meirelles (2009)*	10.456,1 a 11.651,7	Monitoramento em sistema coletivo de irrigação, consideradas perdas na adução da água.
UFSM/SEMA, 2003***	10.500	Estimativa - solos ARENOSOS (bacia rio Santa Maria)
	9.500	Solos MISTO (bacia do rio Santa Maria)
	8.500	Solos ARGilosos (bacia do rio Santa Maria)
UFSM/FINEP, 2005***	12.200	Estimativa - Unidade de solo IBICUÍ (Bacia do rio Ibicuí)
	11.000	Unidade de solo VACACAÍ (Bacia do rio Ibicuí)
	9.000	Unidade de solo URUGUAIANA (Bacia do rio Ibicuí)
	8.000	Unidade de solo BANHADO (Bacia do rio Ibicuí)

* Monitoramento

** Estimativas a partir de métodos de cálculo de evapotranspiração

*** Valores utilizados em estimativa de demanda de uso da água a nível de bacia de gerenciamento de recursos hídricos.

Com a grande diferença de valores verificados na literatura (Tabela 1), 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)

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.

Desta maneira, com a necessidade de implementação 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).

Neste artigo, com o objetivo de contribuir com a gestão de recursos hídricos, apresentam-se alguns resultados de estudo comparativos e simultâneos do uso de diferentes estruturas hidráulicas medidoras de vazão e volume, Vertedores e Hidrômetros respectivamente, instalados para monitoramento de parcelas de arroz irrigado, para contribuir com a cultura de realizar o automonitoramento em lavouras de arroz.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

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 1). Nesta localidade foram monitoradas duas parcelas de pequeno porte de arroz irrigado, sendo aqui as parcelas denominadas de Parcela A e Parcela B. A Parcela A com área de 0,66 ha tem como característica principal a utilização do sistema de Plantio Direto enquanto que a Parcela B com área de 0,80 ha foi utilizado sistema de Plantio Convencional.

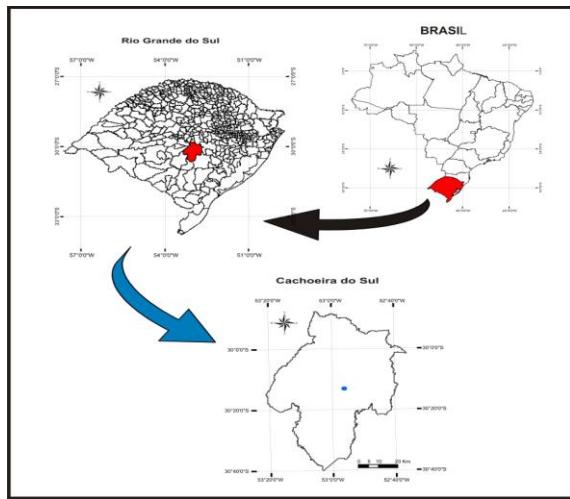


Figura 1 - Localização da área experimental (Cachoeira do Sul).

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 B é “GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Típico”, enquanto que a Parcela A apresenta solo classificado em “PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico Gleissólico” (Lorensi, 2011).

As parcelas monitoradas neste experimento são de acordo com Sosbæi (2005) do tipo Sistematizada em Nível. As parcelas possuem apenas uma saída de água, e a irrigação é por submersão contínua e estática. Em ambas as parcelas, 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.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Vertedores de parede delgada

Os vertedores 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), diferença de nível entre a linha de energia a montante e a soleira do vertedor, é medida a partir de certa distância a montante da estrutura, pois, nesse trecho, 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 forma geométrica, natureza da parede (soleira do vertedor), com contração lateral ou sem contração lateral e quanto à altura da soleira.

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, optou-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. O croqui esquemático desta estrutura pode ser visto na figura 2. (PORTO, 2004)

O vertedor triangular determina a vazão passante pela estrutura através da Fórmula experimental de Gourley, conforme mostra equação 1 (Figura 2), na qual a variável utilizada no cálculo é carga de água sobre a soleira (h), determinada a montante da estrutura (LENCASTRE, 1972).

Para o dimensionamento dos vertedores triangulares, foi necessário cumprir os critérios específicos de dimensionamento deste tipo de vertedor conforme Lencastre (1972) e Porto (2004).

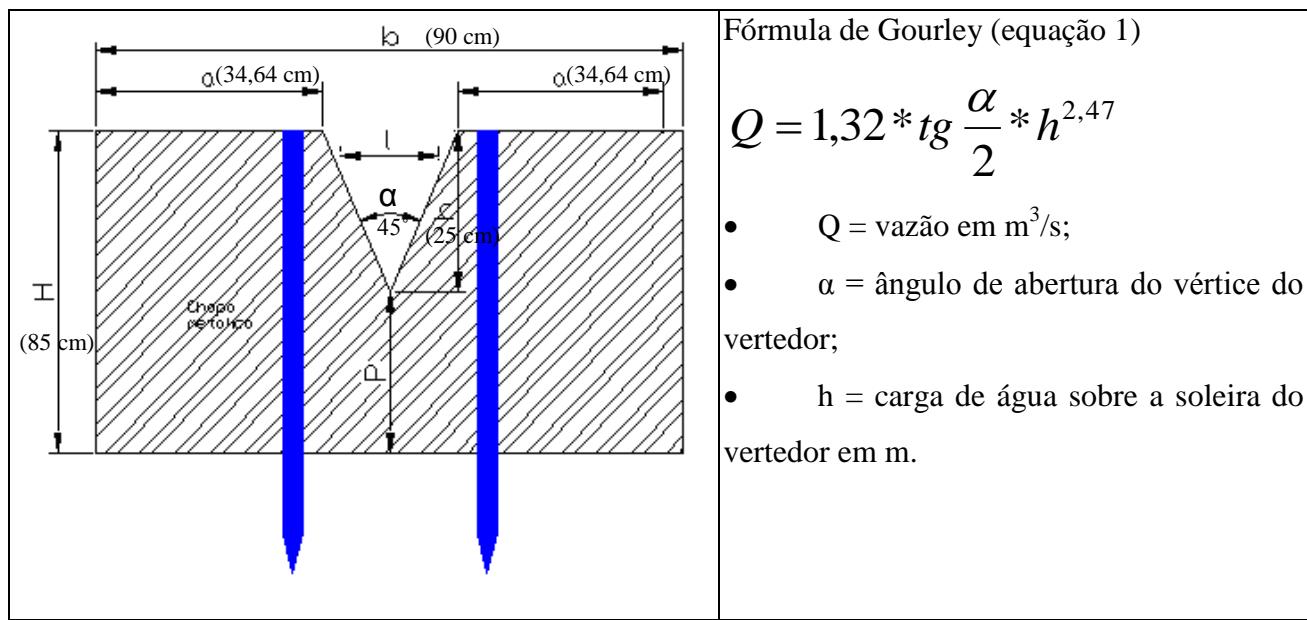


Figura 2 - Croqui - Vertedor Triangular

3.2. Hidrômetros

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”. 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.

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

Considerando os princípios de funcionamento, os hidrômetros podem ser do tipo VOLUMÉTRICO e do tipo TAQUIMÉTRICO (ou VELOCIMÉTRICO), sendo que essas diferentes características de funcionamento têm interferência direta tanto na precisão, custo dos hidrômetros e vida útil dos mesmos.

A classe Metrológica dos hidrômetros indica o grau de precisão na medição A, B ou C. Os hidrômetros de Classe “A” apresentam menor precisão sendo que 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.

Conforme Silva (2008), muitos fatores podem interferir na precisão dos equipamentos medidores como hidrômetros: as características construtivas e o princípio de funcionamento, que se refere à diferença de precisão entre hidrômetros Velocimétricos e os Volumétricos; posição de montagem; influência 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).

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 orizicolas. Os hidrômetros utilizados (Figura 3) foram cedidos pelo IRGA, em parceria na pesquisa com a UFSM, e apresentam especificações técnicas conforme apresentado na figura 3.

Especificações Técnicas
<ul style="list-style-type: none"> - 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 QMáx ($\pm 2\%$ erro): 300 m³/h (83,33 l/s) - Vazão Nominal Qn ($\pm 2\%$ erro): 230 m³/h (63,88 l/s) - Vazão de Transição Qt ($\pm 2\%$ erro): 1,8 m³/h (0,5 l/s) - Vazão Mínima QMín ($\pm 5\%$ erro): 0,8 m³/h (0,22 l/s) - Vazão de inicio de funcionamento: 0,25 m³/h (0,07 l/s)

Figura 3 - Hidrômetro utilizado nas parcelas.

Estes hidrômetros utilizados, modelo “WP – Dynamic”, possuem como característica diferencial em relação à maioria dos hidrômetros, além da instalação nas posições horizontais e verticais, a possibilidade de ser instalado inclinado, desde que a inclinação seja com a direção do fluxo de água para ascendente.

3.3. Instalação do sistema comparativo

Para que se pudesse realizar um teste comparativo com a maior precisão possível, as estruturas foram instaladas em série. Desta maneira, o volume de água passante pelo hidrômetro é o mesmo que passa através do vertedor, de maneira a assegurar que os dois equipamentos estejam monitorando a mesma quantidade (parcela) de água.

O sistema construído para realização do teste é composto de uma caixa de captação e distribuição de água, o qual capta a água do canal de irrigação e distribui 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 4 e em planta de corte, na figura 5.

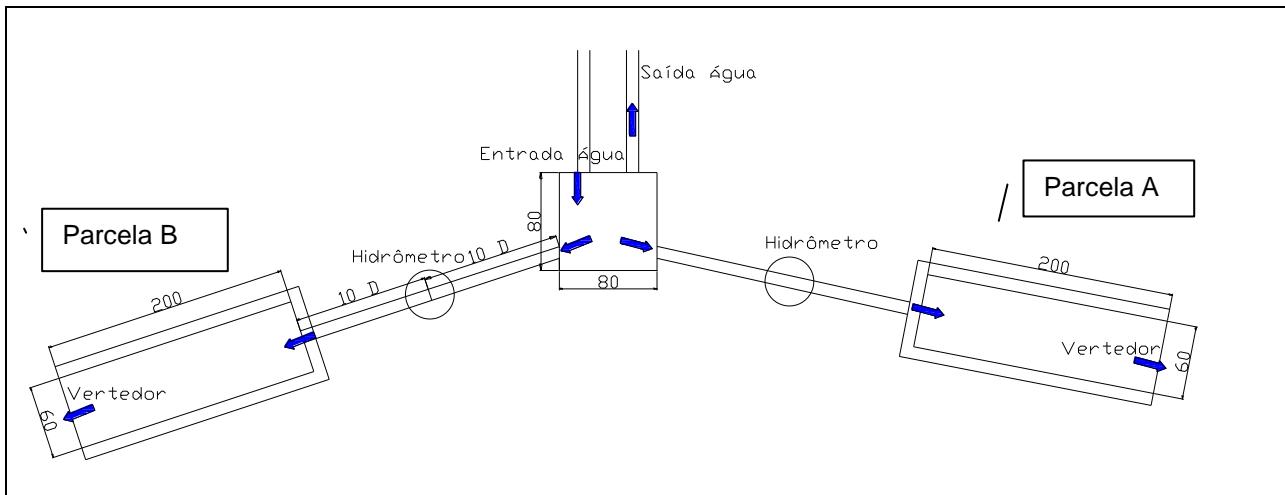


Figura 4 - Planta Baixa do sistema “Vertedor x Hidrômetro”

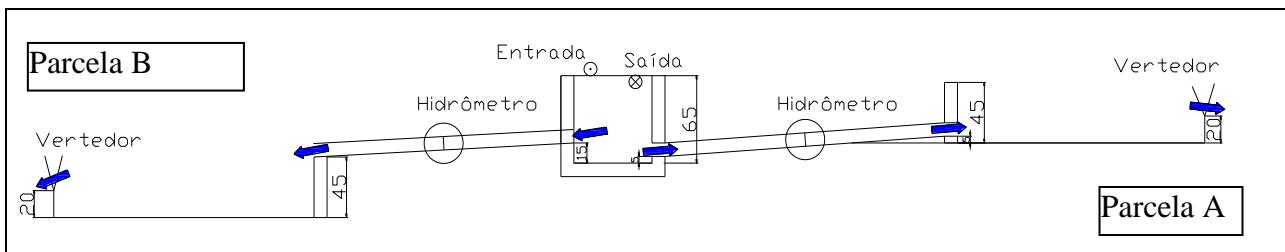


Figura 5 - Planta de Corte do sistema “Vertedor x Hidrômetro”

Após a saída da caixa de captação e distribuição, a água passa pelos hidrômetros, os quais possuem tubulações de montante e de jusante com comprimento de dez vezes o diâmetro da tubulação (10D) (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 para receber a água que sai do hidrômetro, estabilizar o nível e posteriormente conduzir para o vertedor.

Os canais foram construídos com 2,0 metros de comprimento e 0,60 metros de largura, sendo a profundidade de 0,45 metros. A disposição e as dimensões do sistema podem ser verificadas conforme planta baixa e planta de corte, respectivamente na figura 4 e figura 5, como também a vista das parcelas com o sistema de monitoramento pode ser visualizado na figura 6.

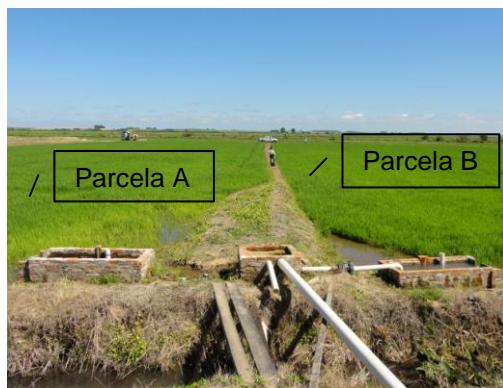


Figura 6 - Sistema Comparativo - Hidrômetro x Vertedor.

3.4. Instalação dos hidrômetros

O monitoramento com hidrômetros 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 situações corriqueiras de instalação quando implantados em canais de irrigação.

Na Parcela A, 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 a saída de água “afogada”, ou seja, a passagem de água pelo hidrômetro ocorre a com tubulação completamente cheia. Nesta metodologia, o nível de captação de água da tubulação do hidrômetro está abaixo do nível da tubulação de saída de água do hidrômetro.

Já na Parcela B, o hidrômetro velocimétrico foi implantado de maneira a verter com saída “livre”, 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”, situação muitas vezes encontrada em monitoramentos em canais de irrigação, em pesquisas semelhantes.

3.5. Determinação das precipitações

Para poder determinar o volume total de água utilizado durante a safra na parcela, utilizou-se também dados monitorados através da utilização de um pluviômetro. Para obter o valor total de volume afluente ao cultivo, realiza-se o somatório da água irrigada com a água precipitada e depois se subtrai o volume drenado superficialmente (caso houvesse saída de água).

3.6. Monitoramento (anotação dos dados)

O monitoramento das estruturas hidráulicas utilizadas ocorreu de maneira simples: para o vertedor somente é necessário anotações do nível da água em certo ponto especificado a montante do vertedor e o horário de cada anotação do; para o monitoramento dos hidrômetros, anotação diária do volume inicial e final no registrador do hidrômetro, bem como seus respectivos horários. As anotações coincidiam sempre com o horário de início da irrigação, imediatamente após a estabilização do nível e também, com os horários que a irrigação era interrompida.

O nível de água passante pelos vertedores foi anotado pelo menos duas vezes ao dia, sendo que seu monitoramento ocorria durante todo o dia, e a qualquer variação do nível era novamente anotado o horário e o nível da água no canal. Também eram anotados eventos como presença de chuva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume total monitorado na Parcela A foi de 8565,15m³/ha com o vertedor e 8600,61m³/ha com o hidrômetro. Já na Parcela B, o volume total monitorado foi de 9987,25m³/ha e 9683,75m³/ha com vertedor e hidrômetro respectivamente.

Analizando a tabela 2, o monitoramento na Parcela A, com hidrômetro instalado conforme as normas do fabricante, obteve-se 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.

Já para a Parcela B, a parcela que monitorou com o hidrômetro instalado de maneira diferente da recomendada (parcela B), 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, o que corresponde a 6,75% a menos do volume monitorado com o vertedor, ou seja, representa um volume significativamente menor monitorado pelo hidrômetro.

Considerando esses valores, poder-se-ia inferir que o hidrômetro permite uma avaliação razoável do volume utilizado na parcela irrigada, em especial quando instalado conforme as recomendações do fabricante.

Porém, essas observações podem ser contestadas e remetem a análises diferenciadas, quando se observa os valores diários, conforme apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 2 - Monitoramento comparativo entre vertedores e hidrômetros (Safra 2009/2010).

Parcelas Monitoradas	Sistema Hidráulico	Volume irrigado (m ³ /ha)	Precipitação (m ³ /ha)	Volume total (m ³ /ha)	Variação (m ³ /ha)	Variação (%)
Parcela A	Vertedor	3.075,148	5.490	8.565,148	35,458*	1,15*
	Hidrômetro afogado	3.110,606	5.490	8.600,606		
Parcela B	Vertedor	4.497,247	5.490	9.987,247	-303,497*	-6,75*
	Hidrômetro escoamento livre	4.193,750	5.490	9.683,750		

* Hidrômetro em relação ao vertedor.

Embora o resultado final do monitoramento na parcela A, seja uma diferença de 1,15% entre os sistemas hidráulicos utilizados, verifica-se, no entanto, um erro médio de 15,0% entre os sistemas hidráulicos nesta parcela, o que representa uma diferença considerável. Essa diferença assume maior importância quando se observa variações do erro com amplitude de -44% (pró vertedor - dia 16/12/2009) a 82% (pró-hidrômetro - dia 03/02/2010), que corresponde a uma amplitude de variação de 126% entre os sistemas hidráulicos nesta parcela.

Tabela 3 - Comparativo Diário – Parcela A.

PARCELA A - “Hidrômetro com Saída Afogada” (Conforme Fabricante)				
Data	Vol. Vertedor (m ³)	Vol. Hidrômetro (m ³)	Diferença (%)	Diferença Média (%)
26/11/09	42,64	46,00	7,88	
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	(Diferença no volume final)

De mesma maneira que na Parcela A, embora o resultado final do monitoramento na parcela B seja uma diferença de 6,75% entre os sistemas hidráulicos utilizados, verifica-se um erro médio de 13,13% entre os sistemas hidráulicos. Neste caso, a amplitude da variação vai 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 B, correspondendo a uma amplitude do erro de 73% entre as estruturas na Parcela B.

Embora se tenha observado que, considerando as diferentes metodologias de instalação dos hidrômetros, a maior diferença percentual entre os totais monitorados pelas estruturas de medição ocorreu na Parcela B, ou seja, onde o hidrômetro não foi instalado conforme recomendações técnicas, as análises dos monitoramentos diários, pois apesar da parcela A apresentar a menor variação entre os volumes finais, foi verificada a maior diferença média e também a maior amplitude de variação, sendo que nesta parcela o hidrômetro foi instalado conforme indicações do fabricante.

Tabela 4 - Comparativo Diário – Parcada B.

PARCADA B - Hidrômetro com “Saída Livre”				
Data	Vol. Vertedor (m ³)	Vol. Hidrômetro (m ³)	Diferença (%)	Diferença Média (%)
26/11/09	100,16	135,00	34,79	
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	
2/1/09	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	(Diferença no volume final)

13,13

Estas diferenças verificadas diariamente entre os vertedores e os hidrômetros podem ter ocorrido devido a influência 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 e portanto contabilizar menor volume monitorado; a metodologia de implantação e o modelo dos hidrômetros, o que pode acarretar em submedições e/ou sobremedidas de vazões; monitoramento de pequenas vazões abaixo da vazão nominal do hidrômetro; e a possibilidade da ocorrência de variações diárias de níveis, não verificadas pelos funcionários, que poderiam alterar os resultados dos vertedores.

É importante relatar que, durante o período monitorado, os hidrômetros precisavam ser frequentemente abertos (pelo menos uma vez ao dia), para que fosse realizada a limpeza dos mesmos, pois estes apresentavam trancamento tanto devido a presença de sujeira (folhas e galhos) como também devido a presença de pequenos peixes, conforme relatado na figura 7. Além da freqüente limpeza dos hidrômetros, foi utilizada uma tela “filtrante” na entrada de água para redução de partículas que pudessem promover o trancamento dos hidrômetros (Figura 8).

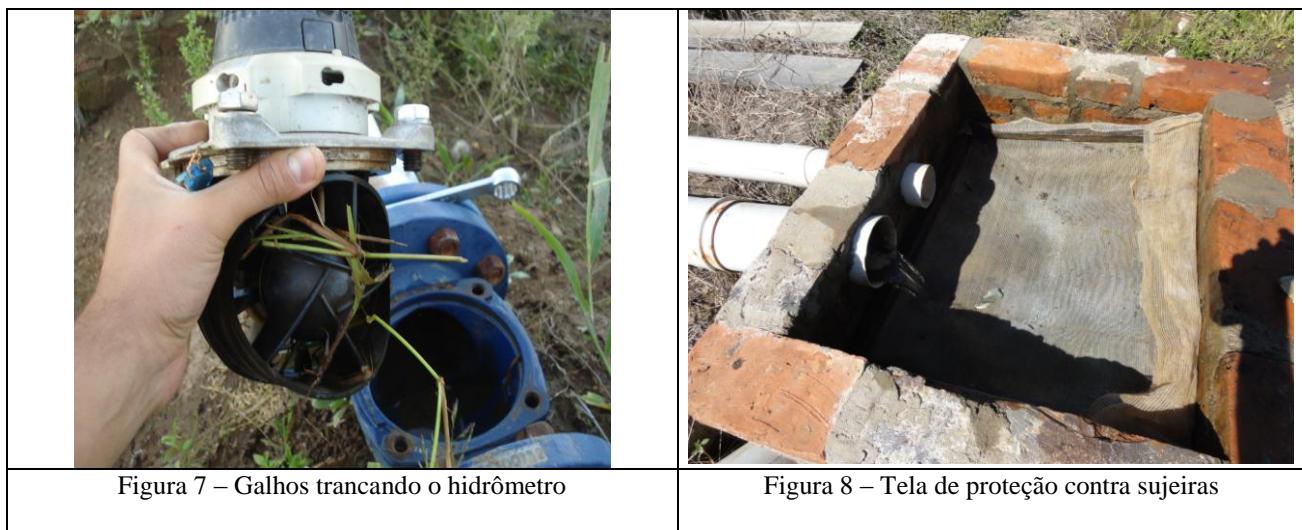


Figura 7 – Galhos trancando o hidrômetro

Figura 8 – Tela de proteção contra sujeiras

Anotações errôneas dos dados por parte dos anotadores podem ser um fator a ser considerado, principalmente nas variações diárias verificadas. Erros nas anotações podem ter ocorrido tanto provenientes de leituras nos hidrômetros como nos vertedores. Quanto aos hidrômetros, na hipótese de ocorrência de anotações diárias errôneas, essas se compensariam no final do período de irrigação, uma vez que com a anotação do início e do fim do período de irrigação se tem o volume total utilizado.

Na tabela 6 a seguir, pode-se verificar a diferença obtida entre as mesmas estruturas, porém nas diferentes parcelas monitoradas, mostrando que ocorreu uma diferença maior entre as diferentes parcelas que entre os diferentes sistemas hidráulicos, quando utilizados em mesma parcela. Os valores encontrados estão coerentes com valores observados na literatura, sendo sua variação tendo provável relação principalmente com fatores como o tipo de solo e o sistema de plantio de cada parcela.

A diferença do solo da Parcela B (GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Típico), com o solo “PLANOSOLO HÁPLICO Eutrófico Gleissólico da Parcela A, é principalmente na camada de “impedimento”, ou seja, a presença do horizonte Btg na Parcela A (Lorensi, 2011). Este horizonte Btg, que é uma característica marcante dos Planossolos, dificulta a passagem de água pelo horizonte.

Tabela 6 - Diferença entre mesmas estruturas.

Município	Comparativo - Sistemas Hidráulicos	Parcela A (m ³ /ha)	Parcela B (m ³ /ha)	Diferença (m ³ /ha)	Diferença (%)
Cachoeira do Sul	Vertedores	8565,148	9987,247	1422,099	14,24
	Hidrômetros	8600,606	9683,750	1083,144	11,19

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os volumes medidos neste estudo são compatíveis com dados verificados na literatura, apesar de verificadas significativas diferenças de valores entre as parcelas monitoradas (parcelas vizinhas, conforme Figura 6 anteriormente apresentada), o que salienta a importância do monitoramento individual dos volumes de água de irrigação por parcela, quando se pretende planejar a racionalização do uso da água.

As diferenças entre os resultados obtidos, quando comparados os sistemas de instalação dos hidrômetros, na Parcela A, hidrômetro “afogado” (conforme recomendações do fabricante), e na Parcela B, com a tubulação de saída vertendo livre e adução de água por gravidade, (situação usualmente utilizada em pesquisas em canais de terra), remete a recomendação de atendimento das recomendações do fabricante. Porém, a magnitude da diferença não permite afirmar que foi a metodologia de implantação dos hidrômetros a responsável pela diferença nos resultados, pois foi justamente na Parcela A, onde o hidrômetro foi instalado corretamente, que foi verificada a maior variação diária entre os sistemas.

Apesar dessas observações, a avaliação da operacionalidade dos hidrômetros, que exige várias interferências no equipamento, uma vez que são equipamentos extremamente sensíveis a qualidade da água, juntamente com o custo mais elevado e aliado ao fato da grande variabilidade das diferenças observadas no monitoramento diário, remete ao questionamento da viabilidade da utilização desses equipamentos para monitoramento de uso da água em irrigação de lavouras de arroz.

Por outro lado, 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, pela simplicidade da instalação e pelo baixo custo, necessitando apenas de um treinamento dos técnicos que farão as observações. Porém, é importante salientar que os volumes obtidos neste experimento são referentes ao uso na parcela, e que, portanto não representa o volume total a ser manejado (volume a ser outorgado pelo sistema de gestão de recursos hídricos), dado que existem perdas da captação até o local de entrada de água nas lavouras. No entanto, as estruturas vertedoras podem ser utilizadas também nos canais que levam até as tomadas d’água das parcelas individuais, para controle global das águas utilizadas e verificação das quantidades gastas no caminho. A grande questão que fica, é quanto a qualidade das anotações durante a operação da irrigação: se são anotados todos os eventos de mudança de nível, se são anotados os horários corretos, inclusive de abertura e fechamento da irrigação.

Esses fatos promovem o questionamento da viabilidade de utilização do sistema de monitoramento com vertedor, dado que o mesmo depende de anotações freqüentes. Para estudar

melhor essa questão, a continuidade dos estudos está sendo realizada com a instalação de sensores de nível para comparar com as planilhas de anotação dos observadores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, ao CNPq e a Finep/CT-Hidro pelo apoio financeiro e bolsas de estudo designadas a esta pesquisa. Ainda agradecimento ao IRGA pela parceria nas instalações dos experimentos.

BIBLIOGRAFIA

a) Livro

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

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

b) Artigo em revista

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. (2007). **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.

HERNANDEZ, M. G. R.; CARLESSO, R.; ROBAINA, A. D. (1997). **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.

MACHADO, S. L, de O.; MARCHEZAN, E.; RIGHES, A. A.; CARLESSO, R.; VILLA, S. C. C.; CAMARGO, E. R. (2006). **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.

MOTTA, F. S., ALVES, E.G. P., BECKER, C. T. (1990). **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.

c) Artigo em anais de congresso ou simpósio

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

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

MARCOLIN, E. e MACEDO V. R. M. (2001) **Consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado**. 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. (2005). **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.

MARCOLIN, Elio ; MACEDO, V. R. M. ; MENEZES, V. G.; TRONCHONI, J. G.; JAEGER, R. L.; FONSECA, É. (2007). **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.

SOSBAI (2005). 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.

d) Dissertação / Tese

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

LORENSI, R. P. (2011). **Relações entre atributos do solo e uso de água em arroz irrigado.** 2011. 126f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MEIRELLES, F. S. C. (2009). **Medidores de vazão em canais não revestidos e o princípio usuário-pagador como instrumentos de gestão da água em sistemas de irrigação.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

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

d) Relatório Técnico

UFSM/CNPq. (2007). **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.

UFSM/FINEP. (2005). **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.

UFSM/SEMA. (2003). **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.