

Comparação do Volume Utilizado em Lavouras Orizícolas com o Método do Balanço Hídrico

Raquel Paula Lorens¹, Jussara Cabral Cruz², Flávio Luiz Foletto Eltz³, Glauco de Oliveira da Luz⁴,
Leonardo Luis Rossetto⁵

raquelorensi@uricer.edu.br; jussaracruz@gmail.com; flavioeltz@gmail.com; gl.luz@terra.com.br; rossetto03@gmail.com

Recebido: 04/08/11 - revisado: 20/03/12 - aceito: 11/04/13

RESUMO

O conhecimento do volume utilizado em áreas orizícolas é de fundamental importância para a solução de problemas relativos à distribuição da água entre os usos múltiplos e à concessão da outorga de direito do uso da água. Como alternativa para controle desses volumes pode-se implementar o automonitoramento, isto é, o monitoramento dos volumes utilizados de água realizado pelo próprio irrigante. Nesse artigo, o objetivo é analisar e validar a técnica de automonitoramento com uso de estruturas hidráulicas, como uma alternativa para determinação do volume de água utilizado no período de irrigação em áreas de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. O experimento foi implantado em três municípios produtores de arroz irrigado: Cacequi, Cachoeira do Sul e Manoel Viana. Foram selecionadas cinco áreas, variando de 0,66 a 23,5 hectares. As estruturas utilizadas foram: vertedor triangular e retangular e o monitoramento foi realizado nos canais de entrada de água nas lavouras. Foi realizada medição diária da carga hidráulica durante o período de irrigação e posterior cálculo das vazões e do volume. Esse volume foi comparado aos resultados do balanço hídrico calculado com variáveis meteorológicas. Os resultados mostraram que os volumes monitorados pelos irrigantes são confiáveis, quando comparados aos volumes estimados pelo balanço hídrico, sendo que apenas em uma das áreas foi obtido valor diferente dos demais, devido à falta de registro da carga hidráulica em alguns dias do período de irrigação. Mostrou-se que o automonitoramento não exige mão de obra qualificada, e sim responsabilidade no momento das anotações da lâmina de água e da precipitação. Conclui-se que o automonitoramento apresenta significativo potencial para contribuir na gestão de recursos hídricos, uma vez que se constitui em uma alternativa técnica confiável e economicamente viável na determinação do volume de água usado na irrigação em áreas de arroz irrigado.

Palavras-chave: Irrigação. Outorga. Estruturas hidráulicas. Medição de vazão. Balanço hídrico.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a sustentação da vida, do meio ambiente e do conjunto de atividades que movem a economia de um país, com destaque à agricultura. No entanto, percebe-se um aumento da escassez desse bem natural para a irrigação agrícola. Se prevalecer o aumento da escassez nos dias atuais, gerar-se-ão maiores conflitos entre os setores que necessitam da água, em especial a irrigação e outras atividades agrícolas, industriais e de abastecimento público. Muitos conflitos são gerados

em locais onde, como no caso do rio Vacacaí, a demanda de água é acima de 90% destinada à irrigação de arroz (MACHADO et al., 2003).

É relevante compreender que a escassez da água é devida a crescente demanda, mas também é influenciada por sua disponibilidade irregular, variando marcadamente ao longo do ano, entre os anos e de região para região. Esses fatores tornam cada vez mais difíceis a utilização contínua e indefinida da água, exigindo assim, novas estratégias para a sua preservação, ou seja, a orizicultura depende do desenvolvimento de procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, melhorar a eficiência da sua aplicação e proporcionar ganhos de produtividade (MACHADO et al., 2003).

Em condições adequadas de solo, relevo e manejo de água, a eficiência da irrigação, nas lavouras de arroz, atinge valores em torno de 60%. No entanto, há citações de que a eficiência situa-se em torno de 45% (MACHADO et al., 2003). Diante

¹ Depto de Ciências Agrárias - URI-Erechim, Campus II

² Departamento Engenharia Sanitária e Ambiental - Centro de Tecnologia, UFSM

³ Depto de Solos, UFSM

⁴ Engenheiro Ambiental

⁵ Meteorologista

disso, uma das alternativas para aumentar a eficiência da irrigação é melhorar o manejo da água, ou seja, racionalizar o uso dos recursos hídricos, bem como disciplinar o seu uso pela aplicação de instrumentos de gestão dos recursos hídricos, entre eles, o de outorga.

A outorga de direito de uso da água, consiste na licença emitida pelo órgão gestor dos recursos hídricos, para que o usuário possa utilizar um determinado volume de água a fim de atender as suas necessidades (CRUZ; SILVEIRA, 2007b), e, com o efeito desse procedimento, racionalizar o uso das águas, evitando assim situações de disputa pelas quantidades disponíveis (CRUZ; SILVEIRA, 2007a).

A fiscalização do uso das águas consiste em um desafio para o órgão gestor por duas razões: (a) estabelecer a outorga, e não ter como fiscalizar as quantidades realmente utilizadas poderá colocar um descrédito a todo o sistema de gestão de recursos hídricos e (b) a implantação de uma fiscalização de medição de vazão em diferentes áreas com diferentes classes de solo, por exemplo, pode se tornar muito onerosa caso o órgão gestor tenha que custear todas as campanhas de monitoramento.

Considerando que a gestão de recursos hídricos possui um desafio na fiscalização, uma alternativa que poderá ter êxito, é quantificar o volume de água utilizado em lavouras de arroz irrigado por meio de métodos simplificados de medição de vazão. Estes métodos consistem em estruturas hidráulicas como o vertedor retangular e triangular.

Criar estratégias que viabilizem o monitoramento do uso da água na irrigação das lavouras de forma simples, econômica, eficiente e aplicáveis em um amplo intervalo de situações tornam-se extremamente relevantes.

Dentre os métodos de medição de vazão que se enquadram nestes critérios, têm-se os vertedores triangulares de soleira delgada que são, certamente, os mais precisos para faixas de vazões inferiores a 30 l s^{-1} (LENCASTRE, 1972). Também, o vertedor retangular de soleira delgada é tão preciso quanto o triangular para vazões compreendidas entre 30 l s^{-1} e 300 l s^{-1} (PORTO, 2004). A utilização destas estruturas hidráulicas consiste basicamente na verificação da carga hidráulica (h), que por meio de equações empíricas refletem a vazão correspondente e em seguida o volume.

O presente trabalho tem por objetivo analisar e validar a técnica de automonitoramento, por meio de estruturas hidráulicas, como uma alternativa na determinação do volume utilizado no período de irrigação em áreas de arroz irrigado na parte central do Rio Grande do Sul.

Esta técnica aplicada à outorga de direito de uso da água é uma forma de autodeclaração do usuário da água, que monitora e fornece dados da quantidade de água utilizada na sua lavoura, formando assim uma consciência de racionalização (LORENSI et al., 2009). Desta maneira, a técnica permite a construção de um banco de dados importante para o balanço hídrico da bacia, objetivando assim conhecer melhor o uso consuntivo de água.

Com a implantação do automonitoramento será possível obter uma quantidade maior de dados referentes ao uso da água, mais próximo da realidade, em lavouras de arroz irrigado e ainda orientar o gestor nas quantidades a serem outorgadas. Estas quantidades outorgadas irão servir de fator para a racionalização da água, a qual incentiva o uso de novas tecnologias para o aumento da eficiência da produção com uma menor quantidade de água.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em cinco áreas de várzea, com extensões de 0,66 a 23,5 hectares, nos municípios de Cacequi, Cachoeira do Sul e Manoel Viana, localizados na parte central do Estado do Rio Grande do Sul. Este estudo compreendeu-se nos meses de primavera-verão do ano agrícola 2008/09. A água para a irrigação foi retirada de barragem e de rio, e conduzida por gravidade até as áreas monitoradas. Os sistemas de cultivo implantados nas áreas foram: plantio direto, cultivo mínimo, convencional e pré-germinado (Tabela 1). A seleção dessas áreas experimentais considerou a existência, na gleba, de apenas uma entrada de água, de modo a possibilitar o cálculo do volume utilizado e, portanto, viabilizar a validação da técnica. As áreas selecionadas para este estudo possuem nivelamento superficial no terreno.

O monitoramento da lâmina de água foi realizado por meio de estruturas hidráulicas, as quais possuem uma barreira inserida perpendicularmente ao fluxo, que passa, então, a verter através de uma abertura de forma geométrica definida na parte superior dessa barreira (COSTA; BACELLAR; SILVA, 2007). A altura da lâmina de água sobre a soleira da abertura, conhecida como carga hidráulica, é, então, utilizada em equações específicas, que fornecem o valor da vazão (PORTO, 2004).

As estruturas hidráulicas (Tabela 1) projetadas para este estudo foram vertedores retangulares e triangulares de soleira delgada, a qual possui es-

pessura de 2 mm. O material das estruturas foram em metal (Figuras 1 e 2) e em alvenaria (Figura 3).

Tabela 1 – Tipo de estrutura hidráulica implantada em cada local de monitoramento da lâmina de água (Lorensi, 2011)

Município RS	Sistema de cultivo	Entrada de água na área	Estrutura hidráulica
Cacequi	Plantio Direto	Entrada	Vertedor retangular (metal)
	Convencional	Entrada	Vertedor triangular (metal) $\alpha=45^\circ$
	Pré-Germinado	Entrada	Vertedor triangular (metal) $\alpha=60^\circ$
Cachocira do Sul	Plantio Direto	Entrada	Vertedor triangular (metal) $\alpha=45^\circ$
	Cultivo Mínimo	Entrada	Vertedor triangular (metal) $\alpha=60^\circ$

α é o coeficiente angular de cada vertedor triangular.



Figura 1 - Vertedor Triangular em metal



Figura 2 - Vertedor Retangular em metal



Figura 3 - Vertedor retangular em alvenaria

O dimensionamento das estruturas foi baseado em pré-estimativas de vazões médias utilizadas durante o período de irrigação. Estas pré-estimativas de vazões foram relatadas pelos produtores de cada área monitorada. No caso dos vertedores triangulares o dimensionamento considerou a variação do ângulo de abertura do vértice e de sua carga hidráulica, enquanto que para os vertedores retangulares foi considerada a variação na largura da soleira e da carga hidráulica.

As equações de determinação de vazão utilizadas neste trabalho, atendendo que todos os vertedores são delgados e de lâmina livre, foram (LENCASTRE, 1972; PORTO, 2004):

- Vertedor triangular - coeficiente angular de 90° , 60° e 45° respectivamente. Equações de Gourley;

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

$$Q = 0,76h^{2,47} \quad (2)$$

$$Q = 0,55h^{2,47} \quad (3)$$

Vertedor retangular - Equação de Francis

$$Q = 1,83(L - 0,2h)h^{3/2} \quad (4)$$

Onde Q é a vazão em $m^3 s^{-1}$; h é a carga hidráulica em m; L é a soleira (borda inferior da abertura) em m.

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

O processo de monitoramento da quantidade de água de irrigação (entrada) conforme proposto neste estudo, consiste na leitura sistemática da carga hidráulica sobre a soleira dos vertedores. Juntamente com a leitura da carga hidráulica realiza-se o monitoramento da precipitação ocorrida no período de irrigação, por meio da instalação de pluviômetro graduado de plástico, de fácil manuseio e entendimento. Tanto a carga hidráulica quanto a precipitação são usadas no cálculo do volume utilizado sendo registradas pelo observador na "Planilha

de Campo - Observador” (Quadro 1), a qual foi desenvolvida para o presente estudo.

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

Quadro 1 - Planilha do Observador

Na parte superior da planilha (Quadro 1), foram reservados espaços para anotações de informações que caracterizam a área monitorada: sistema de cultivo, hectares monitorados (área), município, sistema de condução de água, forma de abastecimento, tipo de estrutura utilizada no local de monitoramento e nome do observador. Estes dados são chamados de dados de apoio. As anotações dos dados principais nas colunas 1(data) e 2(hora) devem ser preenchidos no momento exato em que é feita a leitura da carga hidráulica (3). A carga é lida pelo observador por meio de uma régua linimétrica pouco deformável, de material metálico, a qual é acoplada a montante de cada estrutura e seu valor é anotado em metros. A quarta coluna “observações” serve para o anotador registrar o que está ocorrendo exatamente na data e hora da leitura da carga hidráulica, ou seja, se a bomba está ligada/desligada, se a comporta está aberta/fechada. O valor da precipitação ocorrida é anotada na mesma planilha na quarta coluna “Observações”.

Para o cálculo do volume utilizado de cada área monitorada com arroz irrigado, foi usado o

modelo de balanço hídrico, considerando como fluxos de entrada a água de irrigação e a precipitação e como fluxos de saída, a drenagem superficial pelo extravazador da parcela (Equação 5):

$$V_{utilizado} = V_{irrigação} + prec - Dr \quad (5)$$

Onde, $V_{utilizado}$ é o volume total ($m^3 ha^{-1}$) que é utilizado na lavoura; $V_{irrigação}$ é o volume aplicado com irrigação ($m^3 ha^{-1}$); $prec$ é a precipitação direta na lavoura em $m^3 ha^{-1}$ e Dr é a drenagem superficial monitorada por estruturas de saída, no período de irrigação em $m^3 ha^{-1}$.

Como o monitoramento foi realizado por pessoal das próprias propriedades agrícolas, foi realizado outro balanço hídrico para comparação, seguindo metodologia de Rosso (2007), considerada como independente de qualquer possível erro realizado pelo pessoal que realizou o automonitoramento. Este modelo é expresso na Equação 6.

$$V_{sat} + V_{lâmina} = V_{irrigação} + Prec - ETc - P_v - P_L - Dr \quad (6)$$

Ou, combinando com a equação 5:

$$V_{sat} + V_{lâmina} = V_{utilizado} - ETc - P_v - P_L \quad (7)$$

E rearranjando:

$$V_{utilizado} = V_{sat} + V_{lâmina} + ETc + P_v + P_L \quad (8)$$

Onde, V_{sat} é o volume da lâmina de saturação do solo em $m^3 ha^{-1}$; $V_{lâmina}$ é a lâmina superficial em $m^3 ha^{-1}$; $V_{irrigação}$ é o volume da irrigação em $m^3 ha^{-1}$; $Prec$ é a precipitação em $m^3 ha^{-1}$; ETc é a evapotranspiração da cultura em $m^3 ha^{-1}$; P_v é a percolação profunda em $m^3 ha^{-1}$; P_L é a percolação lateral em $m^3 ha^{-1}$; e Dr é a drenagem superficial em $m^3 ha^{-1}$.

Para o cálculo do volume de água para saturar o solo (V_{sat}) foram utilizadas as Equações 9 e 10:

$$V_{sat} = (Pt - U_v) * h \quad (9)$$

$$U_v = \left(U_g \frac{Ds}{Da} \right) \quad (10)$$

Onde: Pt é a porosidade total de cada horizonte (%); U_v é a umidade volumétrica inicial de cada horizonte (%); h é a altura de cada horizonte a ser

saturado (cm); Ug é a umidade gravimétrica (%); Ds é a densidade do solo (g cm^{-3}); Da é a densidade da água ($1,0 \text{ g cm}^{-3}$).

A parcela relativa à lâmina superficial ($V_{\text{lâmina}}$) foi estimada pelos próprios produtores (em torno de 6 a 10 cm), o que corresponde a 0,06 a 0,10 m em uma área de 10.000 m^2 (1 hectare). Desta forma, ocorre a transformação de cm de lâmina para $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi estimada pela Equação 11, a partir da Evapotranspiração de referência - ETo (Equação 12) e do coeficiente da cultura - K_{ci} (Equação 13), todas de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). A ETo foi estimada a partir de dados climáticos coletados nas estações meteorológicas próximas as áreas de estudo.

$$ETc = ETo * K_{ci} \quad (11)$$

Onde, ETc é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}); Eto é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); K_{ci} é o coeficiente da cultura para o dia i (medido para o ciclo de desenvolvimento).

$$ETo = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[\frac{900}{T + 273} \right] u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (12)$$

Onde, ETo é a Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é a densidade de fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T é a temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$); u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura do solo (m s^{-1}); e_a é a pressão real de vapor (kPa); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); Δ é a declividade da curva de saturação de vapor ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ é a constante psicométrica (MJ kg^{-1}).

$$K_{ci} = K_{cprev} + \left[\frac{i - \sum(L_{prev})}{L_{etapa}} \right] (K_{cprox} - K_{cprev}) \quad (13)$$

Onde, K_{ci} é o coeficiente da cultura para o dia i (adimensional); K_{cprev} é o Kc anterior; i é o número de dias dentro da temporada de crescimento da cultura; $\sum(L_{prev})$ é a soma das durações das etapas prévias; L_{etapa} é a duração da etapa considerada; K_{cprox} é o Kc próximo.

Para o cálculo da percolação vertical e lateral foram utilizadas as equações 12 e 13 (UFRGS, 1997):

$$P_v = Ko_v * i_v * t \quad (14)$$

$$P_L = Ko_L * i_L * P_E * P_A * t \quad (15)$$

Onde; P_v é a percolação vertical em mm; Ko é a condutividade hidráulica saturada em mm d^{-1} (Tabela 4); t é o tempo do período da irrigação em dias; P_L é a percolação lateral em mm; P_E é a profundidade do solo até a camada de impedimento (horizonte B) em m (Tabela 4); e P_A é a relação perímetro (da lavoura)/área da lavoura (m^{-1}), obtido pela divisão do perímetro da lavoura (m) pela área da mesma (ha); e i_v e i_L são os gradientes hidráulicos, dado por:

$$i_v = \frac{\Delta h + l}{l} \quad (16)$$

Onde: i_v é o gradiente hidráulico vertical (adimensional); Δh é a altura da lâmina superficial em m; l é a espessura do solo até a camada de impedimento em m;

$$i_L = \frac{\Delta h}{Bt} \quad (17)$$

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

$$Ko_v = \frac{l}{\frac{\Delta l_1}{Ko_1} + \frac{\Delta l_2}{Ko_2} + \dots + \frac{\Delta l_i}{Ko_i}} \quad (18)$$

$$Ko_L = \frac{1}{l} * (Ko_1 * \Delta l_1 + Ko_2 * \Delta l_2 + \dots + Ko_i * \Delta l_i) \quad (19)$$

Onde: Ko_v é a condutividade hidráulica saturada vertical média em mm h^{-1} ; Ko_L é a condutividade hidráulica saturada média lateral em mm h^{-1} ; Δl_i é a espessura do horizonte i em m; Ko_i é a condutividade de hidráulica saturada do horizonte i em mm dia^{-1} .

O volume do balanço hídrico (V_{BH}) é a soma das Equações 9, 11, 14 e 15, mais a lâmina superficial estimada pelos produtores. A Equação 20 representa este somatório.

$$V_{BH} = V_{sat} + V_{\text{lâmina}} + ETc + P_v + P_L \quad (20)$$

Tabela 2 – Componentes para o cálculo do volume utilizado para a técnica de automonitoramento

Município/ Sistema de cultivo/Classe de solos	Volume de Irrigação – Monitorado nas estruturas (m ³ ha ⁻¹)	Volume de Precipitação (m ³ ha ⁻¹)	Volume de Drenagem superficial (m ³ ha ⁻¹)	Volume Total Utilizado (m ³ ha ⁻¹)
Cacequi – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico	7.927	2.280	0	10.207
Cachoeira do Sul – Convencional – GLEISSOLO HÁPLI- CO Tb Distrófico típico	11.509	5.270	5.270*	11.509
Cachoeira do Sul – Pré-geminado – GLEISSOLO HÁPLI- CO Ta Distrófico argissólico	9.076	6.840	6.840*	9.076
Cachoeira do Sul – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁ- PLICO Eutrófico gleissólico	9.923	5.270	5.270*	9.923
Manoel Viana – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLI- CO Distrófico gleissólico	1.503	2.790	0	4.293

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 são apresentados os resultados do monitoramento do volume utilizado, gerados a partir do balanço hídrico entre os fluxos de entrada (irrigação e a precipitação ocorrida) e da drenagem superficial (saída), nas parcelas monitoradas, durante todo o período de irrigação (Tabela 4).

No município de Cacequi e em Manoel Viana, a área monitorada possui a classe de solo, Planossolo, (Tabela 2). Já nas áreas do município de Cachoeira do Sul ocorrem as classes Gleissolos e Planossolos. A classificação do solo foi realizada até o quarto nível categórico, sendo auxiliada pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2006).

Os resultados do monitoramento (Equação 5), comprovam que os volumes utilizados em diferentes sistemas de cultivo, em área próxima uma da outra, não diferiram no uso da água, ou seja, houve uma pequena diferença como mostra a tabela 2. É o caso das áreas no município de Cachoeira do Sul. Estes resultados estão embasados nos estudos desenvolvidos por Machado et al. (2002); Machado et al. (2006) e Marcolin e Macedo (2001), os quais afirmam que a diferença no uso da água não está diretamente relacionada com o sistema de cultivo, e sim, com outras variáveis como: classe de solo, nivelamento superficial do terreno, manejo da água na irrigação entre outros. Wopereis et al. (1994) destacam que a similaridade no uso da água pode estar atribuída ao nivelamento superficial do terreno,

evitando assim o escoamento superficial contínuo de água para os drenos, tendo a menor perda de água por infiltração através das taipas por já estarem consolidadas. Neste estudo, essa similaridade foi verificada em todas as áreas monitoradas.

Na tabela 3 são apresentados os resultados do balanço hídrico realizado com estimativas de evapotranspiração e características hidráulicas dos solos, para comparar com os valores de uso da água obtidos com o automonitoramento. Nesse modelo foram considerados volumes de água para: a) saturar o solo; b) formar a lâmina superficial; c) suprir a evapotranspiração e d) alimentar a percolação vertical e lateral (ROSSO, 2007).

As treze primeiras colunas da tabela 3 apresentaram os componentes para o cálculo do balanço hídrico segundo descrito na metodologia: Equações 9 a 19. A décima quarta coluna refere-se ao volume do balanço hídrico (V_{BH}), o qual está expresso na equação 20. Já a décima quinta refere-se ao volume utilizado ($V_{utilizado}$) (Equação 5), monitorado por meio das estruturas hidráulicas. E por fim, a décima sexta apresenta a diferença entre o balanço hídrico e o volume utilizado (automonitoramento).

As colunas oitava e nona da tabela 3 são referentes ao volume para saturar o solo V_{sat} (Equação 7). A oitava coluna apresenta valores negativos, pois foi utilizado o mesmo valor de umidade gravimétrica (Equação 8), coletado a 15 cm de profundidade, para todos os horizontes. Em alguns horizontes a umidade volumétrica apresentou-se maior que a porosidade total, ocasionando assim valores negativos. Estes valores não existiriam caso houvesse me-

Tabela 3 – Componentes para o cálculo do balanço hídrico; volume do balanço hídrico (V_{BH}); volume utilizado ($V_{utilizado}$), diferença do balanço hídrico e o volume utilizado em módulo e percentagem entre os métodos de cada área monitorada em três municípios na região central do Estado do Rio Grande do Sul

H	Prof.	Dif.	Ug	Ds	Uv	Pt	V_{sat}	V_{sat}	$V_{lâmina}$	ETc	P_v	P_L	V_{BH}	$V_{utilizado}$	Diferença em módulo	em %
(1)	cm	cm	%	g cm ⁻³	%	%	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	V_{BH} e $V_{utilizado}$	(17)
	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	m ³ ha ⁻¹	(16)
Cacequi – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico																
A ₁	0 - 39	39	28,1	1,54	43,3	49,3	233,5	233,5								
A ₂	39 - 65	26	28,1	1,73	48,6	41,1	-194,6	0,0	600,0	6111,0	2606,9	52,3	9603,7	10207,0	603,3	106,3
E	65 - 83	18	28,1	1,81	50,9	40,8	-181,3	0,0								
Cachoeira do Sul – Convencional – GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico																
Ap	0 - 20	20	22,8	1,78	40,5	40,0	-10,5	0,0								
C ₁	20 - 40	20	22,8	1,75	39,8	41,3	30,2	30,2								
C ₂	40 - 90	50	22,8	1,51	34,4	56,2	1092,4	1092,4	1000,0	6545,4	373,7	43,0	9762,1	11509,0	1746,9	117,9
Cr	90-180	90	22,8	1,59	36,2	43,7	677,5	677,5								
Cachoeira do Sul – Pré-germinado – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico																
Ap	0 - 23	23	16,8	1,68	28,2	45,2	390,8	390,8								
AB	23 - 55	32	16,8	1,8	30,2	38,3	260,2	260,2	1000,0	7696,3	34,2	0,09	9381,7	9076,0	305,7	96,7
Cachoeira do Sul – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico																
Ap	0 - 35	35	19,3	1,71	33,0	39,9	242,1	242,1								
A	35 - 90	55	19,3	1,46	28,1	49,3	1165,8	1165,8	1000,0	6545,4	465,2	23,9	9442,3	9923,0	480,7	105,1
Manoel Viana – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico																
Ap	0 - 19	19	21,4	1,81	38,6	38,8	3,4	3,4								
A	19 - 33	14	21,4	1,95	41,6	33,9	-107,8	0,0	1000,0	5886,0	169,6	2,4	7061,4	4293,0	2768,4	60,8

H são os horizontes; Prof é a profundidade dos horizontes em cm; Dif é a diferença entre horizontes em cm; Ug é a unidade gravimétrica do solo em %; Ds é a densidade do solo em g cm⁻³; Uv é a unidade gravimétrica em %; Pt é a porosidade total dos solos estudados em %; V_{sat} é a lâmina de saturação do solo em m³ ha⁻¹; $V_{lâmina}$ é a lâmina superficial do solo em m³ ha⁻¹; ETc é a evapotranspiração da cultura em m³ ha⁻¹; P_v e P_L é a percolação vertical e lateral em m³ ha⁻¹; V_{BH} é o balanço hídrico em m³ ha⁻¹; $V_{utilizado}$ é o balanço hídrico desenvolvido para a técnica de automonitoramento em m³ ha⁻¹; Diferença em módulo entre V_{BH} e $V_{utilizado}$ em m³ ha⁻¹. % é o percentual entre os métodos.

Obs: Os valores de mm dia⁻¹ das variáveis foram transformados em m³ ha⁻¹.

didas de unidade gravimétrica em cada horizonte. Diante disso, o solo foi considerado saturado onde os valores deram negativos e posteriormente substituídos por zero (coluna 9).

Considerando-se o $V_{utilizado}$ como 100%, o percentual do V_{BH} em Cacequi no sistema de plantio direto (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico), em Cachoeira do Sul, no sistema pré-germinado (GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico) e em Cachoeira do Sul, no sistema plantio direto (PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico) foram de 6,3, 17,9 e 5,1%, respectivamente, maior do que o $V_{utilizado}$. Estes percentuais indicaram que o

V_{BH} ficou bem próximo ao $V_{utilizado}$, calculado pelo automonitoramento, comprovando o funcionamento deste método. Na área de Cachoeira do Sul, no plantio pré-germinado (GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico), foi possível perceber o oposto das áreas anteriores, ou seja, o percentual do V_{BH} foi menor do que o $V_{utilizado}$. Este percentual foi de 96,7%, podendo-se considerar como um valor bem próximo devido a esta diferença de apenas 3,3% entre os métodos. Diante disso, nesta área também pode ser considerado como validado o automonitoramento.

Tabela 4 – Profundidade do horizonte B, condutividade hidráulica e período de irrigação

Horizonte	Profundidade (cm)	Ko (mm h ⁻¹)	Período de irrigação (dias)
Cacequi – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico			
A1	0 - 39	1,2	
A2	39 - 65	10,4	
E	65 - 83	27,3	83
Btg	83 -105 ⁺	2,2	
Cachoeira do Sul – Convencional – GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico			
Ap	0 - 20	0,5	
C1	20 - 40	0,1	
C2	40 - 90	4,0	100
Cr	90 -180 ⁺	1,3	
Cachoeira do Sul – Pré-germinado – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico argissólico			
Ap	0 - 23	0,0	
AB	23 - 55	0,0	
Btg	55 - 72	0,2	126
C	72 -122 ⁺	0,3	
Cachoeira do Sul – Plantio Direto – PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico			
Ap	0 - 35	5,2	
A	35 - 90	0,0	100
Btg	90 -130 ⁺	0,2	
Manoel Viana – Cultivo Mínimo – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico			
Ap	0 - 19	1,1	
A	19 - 33	0,1	
Btg1	33 - 70	0,1	84
Btg2	70 -115 ⁺	1,3	

Na área de Cachoeira do Sul, sistema de plantio convencional houve um percentual de 13,3% do $V_{\text{utilizado}}$ em relação ao V_{BH} . Este percentual apresentou-se maior do que nas áreas anteriores. Mesmo assim, esse resultado não invalida a técnica, já que nesse resultado há uma incerteza nos cálculos devido ao fato de que, nesta área, não há a camada de impedimento (Tabela 3). Adotou-se para o cálculo do balanço hídrico a espessura 90 cm do horizonte C₂, embora o critério adotado para as demais parcelas tenha sido a espessura do solo até a camada de impedimento, Horizonte B (Tabela 4).

Já na área do município de Manoel Viana, com o cultivo mínimo (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico) foi à única área a apresentar diferença maior de percentual entre os dois métodos. Este percentual foi de 60,8% do V_{BH} em relação ao $V_{\text{utilizado}}$. Este maior

percentual em relação às demais áreas estudadas pode estar associado à ausência na leitura da lâmina de água por meio do observador, como evidenciam os dados na Tabela 2. Esta área apresentou um volume de irrigação observado por meio das estruturas hidráulicas, de apenas 1.503 m³ ha⁻¹, sendo um valor muito inferior quando comparado com as demais áreas e em desacordo com o balanço hídrico alternativo (equação 20). Este resultado evidencia a necessidade de desenvolver mecanismos de consistência dos dados, inerente a todo sistema de monitoramento, bem como capacitação e treinamento dos irrigantes para realização desta atividade.

Diante dos percentuais de 6,3%; 17,9%; 5,1% e 3,3% apresentados anteriormente, com diferença média de 8,1%, entre ambos os métodos em 4 das 5 áreas estudadas, é possível validar a técnica de automonitoramento, ou seja, de cinco áreas, quatro apresentaram resultados próximos dos valores calculados

pelo balanço hídrico, o que mostra a potencialidade de delegar aos irrigantes a tarefa de registro dos dados de monitoramento.

CONCLUSÕES

A técnica de automonitoramento dos volumes de água utilizados para irrigação de arroz, por meio de vertedores triangular e retangular combinado com sistema de observação e anotação dos dados pelos próprios operadores da irrigação, apresentou significativo potencial para contribuir na gestão de recursos hídricos como possível auxiliar na fiscalização da outorga de direito do uso da água.

Os valores dos volumes observados pelo automonitoramento e pelo balanço hídrico alternativo ficaram próximos na maioria das áreas estudadas, validando o automonitoramento realizado pelos irrigantes.

Além de apresentar confiabilidade nos dados, a técnica consiste numa alternativa simples, prática e viável, tanto técnica quanto economicamente na determinação do volume usado no período de irrigação em áreas de arroz irrigado e que poderá ser implementada tanto pelo pequeno quanto pelo grande produtor de arroz irrigado.

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

AGRADECIMENTOS

Aos produtores de arroz irrigado nas áreas monitoradas. Aos bolsistas do grupo de pesquisa (GERHI) da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. A Capes pela bolsa concedida e ao CNPq pelo financiamento do projeto.

Ao IRGA e produtores rurais por cederem as áreas para os experimentos.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 319 p. (FAO irrigation and drainage. Paper, 56).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MACHADO, S. L. O.; RIGUES, A. A.; MARCHEZAN, E.; VILLAS, S. C. C.; MARZARI, V.; OLIVEIRA, A. P. B. B.; MONTI, M. B. Determinação do consumo de água em cinco sistemas de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis, SC. *Anais...* Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2002. p. 336-339.

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

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

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

WOPEREIS, M. C. S.; BOUMAN, B. A. M.; KROPFF, M. J.; TEN BERGE, H. F. M.; MALIGAYA, A. R. Water use efficiency of flooded rice fields. I-Validation of the soil-water balance model SAWAH. *Agricultural Water Management*, v.26, n. 4, p. 277-289, 1994.

Comparison Between the Volume Used In Rice-Planting Areas And The Water Balance Method

ABSTRACT

Knowledge regarding the volume used in rice-planting areas is essential to solve problems of water distribution among multiple uses and the concession of water use rights. As an alternative to control these volumes, self-monitoring can be implemented. This is the monitoring of the volumes of water used by the irrigator himself. This article aims to analyze and

validate the self-monitoring technique using hydraulic structures, as an alternative to determine the volume of water used in areas with irrigated rice in Rio Grande do Sul. The experiment was implemented in three municipalities where irrigated rice is produced: Cacequi, Cachoeira do Sul and Manoel Viana. Five areas were chosen, ranging from 0.66 to 23.5 hectares. The structures used were: triangular and rectangular weirs, and monitoring was done in the water inflow canals to the crops. The hydraulic head was measured daily during the irrigation period and later flows and volume were calculated. This volume was compared to the results of the water balance calculated with meteorological variables. The results showed that the volumes monitored by the irrigators are reliable, compared to the volumes estimated by the water balance, and a value different from the others was obtained in only one of the areas. This was due to a lack of records about the hydraulic head on some days during the irrigation period. It was shown that self-monitoring does not require specialized labor, but rather, responsibility at the time of taking note of the water depth and precipitation. It is concluded that self-monitoring has a significant potential to contribute to water resources management, since it is a reliable technical alternative and is economically feasible to determine the volume of water used for the irrigation of irrigated rice crops.

Key-words: *irrigation, concession, hydraulic structures, flow measurement, water balance.*