

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
AMBIENTAL

COBRANÇA POR VOLUME EM SISTEMAS COLETIVOS DE IRRIGAÇÃO  
COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DA ÁGUA

FERNANDO SETEMBRINO CRUZ MEIRELLES

TESE DE DOUTORADO

**Porto Alegre, julho de 2009.**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

COBRANÇA POR VOLUME EM SISTEMAS COLETIVOS DE IRRIGAÇÃO  
COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DA ÁGUA

FERNANDO SETEMBRINO CRUZ MEIRELLES

Tese realizada sob a orientação do  
Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum  
apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
em preenchimento parcial dos requisitos para a  
obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e  
Saneamento Ambiental.

PORTO ALEGRE

2009

**À minha pequena família,  
Célia, Pedro e Lúcia,  
meu norte, meu leste e meu oeste,  
meu alfa e meu ômega.**

## **AGRADECIMENTOS**

Há muitos agradecimentos a serem feitos, pois muitos viabilizaram ou contribuíram para a realização deste trabalho, de forma direta ou indireta.

Devo, inicialmente, agradecer à CAPES, que possibilitou o estágio na Universidade de Évora, por meio do PDEE.

Em Évora, o apoio e a amizade do Prof. Dr. Manuel Rijo foram fundamentais, mais do que a séria e competente orientação técnica. Sem ele, não teria contatado os gestores dos perímetros irrigados, que nos receberam e aceitaram ser entrevistados, fornecendo detalhes de gestão e de rentabilidade, nem sempre fáceis de serem obtidos. Na pessoa do Prof. Rijo, agradeço a todo o Departamento de Engenharia Rural.

Outro apoio fundamental foi o do Sr. Condessas, dedicado técnico do laboratório de hidráulica da Universidade de Évora, que participou de todas as experiências no canal de vidro. Também contei com o apoio do Sr. Valério, das oficinas, que confeccionou as hastes e os tubos utilizados, além de consertar o canal do NHUCC. Nas pessoas deles, agradeço o apoio dos técnicos da Universidade de Évora.

Em terras gaúchas, há pessoas ligadas ou não ao IPH. Destas, destaco o Engenheiro Agrônomo Joaquim Carriconde Filho, gestor do distrito de irrigação do Chasqueiro, e o Prof. Alvaro Franz, da Universidade Federal de Pelotas, que apoiaram a realização dos ensaios de campo em Arroio Grande. Sem estes, não haveria possibilidade de conclusão do trabalho.

Outras duas pessoas fundamentais foram os alunos de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Economia da UFRGS, Marianne Stampe e Magnus Nehme, que aceitaram o meu desafio de trabalhar com água e receber a minha orientação na execução das pesquisas realizadas nas bacias dos rios Gravataí e Quaraí, que permitiram validar metodologias de valoração da água.

Dentro do IPH, devo, inicialmente, agradecer o apoio do Departamento de Hidromecânica e Hidrologia, que permitiu que eu dedicasse o tempo necessário à conclusão do doutorado, mesmo com uma interrupção dos três anos em que assumi a Pró-Reitoria de Extensão da UFRGS.

À coordenação do PPGRHSA, nas pessoas do Prof. André Silveira e de Nadir Bueno, que compreenderam as peculiaridades de um aluno não bolsista e com atividades administrativas conjuntas com o período do doutorado.

Dentre os docentes do IPH, quero agradecer à primeira acolhida de Paulo Kroeff e Luiz Augusto Endres e à orientação final de Joel Avruch Goldenfum, parceiro de tempos remotos, e de José Antônio Saldanha Louzada, colega do Setor de Água e Solo, com quem discuti as últimas versões finais trabalho.

Aos colegas Marcelo Marques, Luiz Endres, Nara Rosauero, Edith Beatriz Schettini, Ana Luiza Borges, Rogério Maestri e Alexandre Beluco, agradeço o apoio nas questões hidráulicas e pelo tempo de utilização dos laboratórios.

Aos colegas Edith Beatriz Schettini e Walter Collischonn, pela confiança depositada na execução do tema econômico do projeto TwinLatin, que possibilitou a obtenção de informações e ensaio de metodologias na bacia do rio Quaraí.

Ao Antônio Eduardo Lanna, pelas discussões econômicas e empréstimo de bibliografia sobre o tema de análise de projetos.

Aos amigos Lawson Beltrame e Alfonso Risso, pelo apoio, conversas e parcerias ao longo deste período.

Ainda dentro do IPH, um agradecimento especial à bibliotecária Jussara Silva, pelo apoio nas referências bibliográficas, e aos técnicos em hidrologia que participaram do estudo, em suas diferentes etapas. Joelma Murliki e Fabiana da Cunha Lagoas apoiaram os ensaios em laboratório; Israel Diego Pinho Martins e Lucas Dalsotto, os experimentos em campo, tanto em Viamão como em Arroio Grande. Mas certamente este estudo não teria sido realizado se não fosse pela inteligência e perspicácia do geógrafo e técnico em hidrologia Agustin Miguel Sanchez y Vacas, responsável pela instalação dos vertedores a campo e pela coleta de dados das estruturas de controle.

Ao Marinho e à Fernanda, agradeço o empréstimo da vista do mar da Joatinga e da calma de Búzios, onde grande parte desta tese foi escrita.

Finalmente, agradeço à minha esposa Célia, pelo apoio carinhoso, pela compreensão, pelas fotografias dos experimentos e pela construção do dispositivo de tranquilização do canal em Portugal e pela paciência ao longo deste estudo.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	x
Resumo	xiii
Abstract	xiv
Apresentação	xv
1. Introdução	1
2. Objetivos	4
3. Justificativa	6
4. Revisão bibliográfica	10
4.1. O princípio usuário-pagador	12
4.2. O valor da água para irrigação	50
4.3. Projetos coletivos de irrigação	64
4.4. Sistemas de distribuição por canais não revestidos	100
4.5. Eficiência da irrigação	111
4.6. Eficiência em sistemas de irrigação	119
4.7. A lavoura de arroz irrigado no Rio Grande do Sul	132
4.8. Sistemas coletivos de irrigação no Rio Grande do Sul	144
4.9. Sistemas de coletivos de irrigação em Portugal	150
4.10. Estudos sobre vertedores e orifícios como medidores de vazão em canais de irrigação	159

4.10.1. Importância da medição de vazão	159
4.10.2. Medidores de vazão	162
4.10.3. Limitantes dos medidores de vazão em canais não revestidos	173
4.10.4. Escoamento em orifícios	175
4.10.5. Estudo sobre vertedores	183
4.10.6. Vertedores de paredes curtas	195
4.10.7. Combinação de vertedor e orifício	199
5. Metodologia	203
5.1. Princípio usuário-pagador	204
5.2. Medidores de vazão em canais de irrigação	209
5.2.1 Ensaios realizados no IPH e no Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro	210
5.2.2. Ensaios realizados na Universidade de Évora	216
6. Resultados e discussão	224
6.1. Sobre a aplicação do Princípio Usuário-Pagador	224
6.2. Sobre a medição de vazão	231
6.3. Sobre o medidor IPH	239
7. Conclusão	253
8. Recomendações	261
9. Referências bibliográficas	264

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura nº</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1.	Componentes do custo total da água	26
2.	Componentes do valor de uso da água	27
3.	Evolução da área irrigada e do volume consumido em função do valor da taxa de uso da água	47
4.	Redução do consumo de água em função do preço	56
5.	Módulo milanês	84
6.	Módulo de Ribeira	84
7.	Estrutura automática de controle de vazão em canais de irrigação: regulador com orifícios	85
8.	Módulo de prancha	87
9.	Comando por montante e comando por jusante	89
10.	Possibilidades de combinação entre regulação e comando	90
11.	Seleção do processo de operação de canal de irrigação	97
12.	Variação da profundidade em canais para as situações de vazão máxima e vazão nula, de acordo com a lógica de controle	104
13.	Variação de nível em canal de acordo com manobras das estruturas transversais	104
14.	Esquema de balanço hídrico	117
15.	Balanço hídrico concebido para o projeto da bacia do Mekong	118

<b>Figura nº</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
16.	Evolução da área plantada e produtividade da lavoura de arroz no Rio Grande do Sul – 1921-2008	135
17.	Fluxograma para a determinação de demanda	140
18.	Distribuição temporal do volume de irrigação da lavoura de arroz na bacia do rio Quaraí, RS.	141
19.	Vertedor triangular parede espessa em canal de irrigação	166
20.	Configuração básica de uma calha Parshall	169
21.	Condições hidráulicas de funcionamento de bueiros	171
22.	Orifício afogado em canal	177
23.	Escoamento livre sob uma comporta	179
24.	Escoamento afogado sob uma comporta	180
25.	Escoamento sobre vertedores de parede espessa	184
26.	Desenvolvimento do jato de um vertedor livre	187
27.	Detritos acumulados junto à estrutura de controle em canal	190
28.	Alteração no coeficiente de vazão de acordo com o afogamento do vertedor	197
29.	Alteração do coeficiente de vazão de acordo com Fawer	200
30.	Vertedor construído com tubos de concreto em canal do sistema de irrigação do arroio Chasqueiro	212
31.	Colocação de réguas de medição na seção de jusante de uma estrutura de controle	213

<b>Figura nº</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>32.</b>	Estrutura de controle do sistema de irrigação do arroio Chasqueiro, mostrando o volante e o parafuso sem fim. A comporta da esquerda mostra um <i>vertedor tulipa</i> acoplado, responsável pela segurança do canal.	<b>214</b>
<b>33.</b>	Ficha de coleta de informações sobre a operação de cada estrutura do Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro	<b>215</b>
<b>34.</b>	Canal do Laboratório de Hidráulica da Universidade de Évora	<b>217</b>
<b>35.</b>	Sistema de amortecimento de ondas na entrada do canal	<b>218</b>
<b>36.</b>	Estrutura de ensaio com tubo de diâmetro de 75 mm e haste de elevação – ensaio com uso de solução de permanganato de potássio	<b>219</b>
<b>37.</b>	Vista geral do canal do NUHCC – Canal superior, canal inferior, comportas planas, tomadas de água e caixa de sensores de nível.	<b>220</b>
<b>38.</b>	Tubo e escalas de medição colocados no canal trapezoidal inferior do NUHCC	<b>222</b>
<b>39.</b>	Tubo e escala colocados no canal trapezoidal superior do NUHCC	<b>223</b>
<b>40.</b>	Amortecimento das ondas provocadas pela <i>over shot gate</i>	<b>223</b>
<b>41.</b>	Valores de vazão específica e nível a montante da estrutura de controle 2 do Canal C 2.1	<b>232</b>
<b>42.</b>	Valores de vazão específica e nível a montante da estrutura de controle 4 do Canal C 2.1	<b>232</b>

<b>Figura nº</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>43.</b>	Comparação entre a vazão específica (l/s.ha) dos controles 2 e 4, Canal C 2.1	<b>233</b>
<b>44.</b>	Valores normalizados de vazão específica e nível de montante para o canal C2.1, controle 4	<b>234</b>
<b>45.</b>	Valores normalizados de vazão específica e nível de montante para o canal C2.1, controle 2	<b>235</b>
<b>46.</b>	Vazão específica e nível de montante no bueiro 6 do canal C1.	<b>237</b>
<b>47.</b>	Valores normalizados para vazão específica e nível a montante no bueiro 6 do canal C1	<b>238</b>
<b>48.</b>	Limite de utilização da tubulação apoiada no fundo do canal como um vertedor livre, segundo Bonafé.	<b>242</b>
<b>49.</b>	Relação entre alturas de montante da tubulação estimada e medida	<b>242</b>
<b>50.</b>	Medição de velocidade com a sonda de Prandtl	<b>245</b>
<b>51.</b>	Relação entre vazão estimada e vazão medida no conjunto orifício e vertedor com a aplicação da proposta de Akerman e Martin	<b>246</b>
<b>52.</b>	Relação entre valores de vazão (m <sup>3</sup> /s) medidos e estimados com o uso da equação de Ferro	<b>248</b>
<b>53.</b>	Comportamento do erro de estimativa em relação à vazão de ensaio	<b>252</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela nº</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1.	Instrumentos de gestão de recursos hídricos, abordagem, critérios, formas de negociação e interlocutores	20
2.	Governança da água na agricultura, em diferentes níveis institucionais	23
3.	Arrecadação por setor usuário de água entre os anos de 2003 e 2005 na bacia do rio Paraíba do Sul, em Reais (R\$)	31
4.	Aplicação do PUP sobre a Região Hidrográfica do Guaíba, RS, e seu efeito na arrecadação dos recursos necessários à execução do Plano de Bacia	31
5.	Classificação de bens quanto à elasticidade-renda	36
6.	Classificação da demanda quanto à elasticidade-preço	36
7.	Valores propostos para a cobrança da água de irrigação e a elasticidade-preço para as bacias hidrográficas do estado da Bahia	38
8.	Valores referenciais para a água bruta no Ceará	43
9.	Simulação da aplicação dos valores propostos para a bacia dos rios Pardo e Pardinho	52
10.	Variação da renda, da arrecadação estatal, da demanda de mão de obra e do uso de fertilizantes em função do preço da água	56
11.	Relação entre a área irrigada anual e a área dominada em perímetros irrigados	68
12.	Métodos de distribuição e modos de controle e sua influência nas variáveis de operação do sistema de canais	99
13.	Perdas de água em canais não revestidos	109

<b>Tabela nº</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>14.</b>	Eficiência de irrigação e consumo de energia de diferentes métodos de irrigação	<b>112</b>
<b>15.</b>	Taxas de eficiência global baseada em pesquisas da ICID	<b>120</b>
<b>16.</b>	Consumo de água, rendimento de grãos, eficiência do uso da água, início e período de irrigação de diferentes sistemas de cultivo do arroz irrigado, em dois anos agrícolas	<b>139</b>
<b>17.</b>	Valores aproximados do consumo de água em lavouras de arroz	<b>139</b>
<b>18.</b>	Aproveitamentos Hidro-agrícolas em exploração ou em execução, por região administrativa	<b>151</b>
<b>19.</b>	Necessidades hídricas anuais do arroz em diferentes regiões produtoras de Portugal	<b>152</b>
<b>20.</b>	Arrecadação de recursos no Vale do Sorraia por volume consumido e por hectare	<b>153</b>
<b>21.</b>	Valores da taxa de exploração e conservação aplicadas no perímetro de rega equipado ou áreas próximas do Baixo Mondego	<b>156</b>
<b>22.</b>	Valores por unidade de área nos Campos de Pranto (€/aguilhada)	<b>157</b>
<b>23.</b>	Valores cobrados por área no Vale do Arunca (€/aguilhada)	<b>157</b>
<b>24.</b>	Variação do valor do coeficiente de descarga C para vertedores em canais de seção trapezoidal, de acordo com a carga e com a inclinação dos taludes	<b>192</b>
<b>25.</b>	Estimativa de perda de água em pontos distintos do Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro (l/s.m)	<b>236</b>

<b>Tabela nº</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>26.</b>		
<b>27.</b>	Resultados obtidos com o uso do medidor IPH no trecho superior do canal do NUHCC de acordo com a equação de Negm	<b>250</b>
<b>28.</b>	Ajuste do fator de F da equação de Negm para o canal inferior do NUHCC	<b>251</b>

## RESUMO

Um dos instrumentos de gestão que podem elevar a eficiência do uso de recursos hídricos é a cobrança a partir da aplicação do princípio usuário-pagador. Esta definição aparece nas propostas dos planos de bacia com diferentes critérios de cobrança, tanto em termos de valores como de unidade de cobrança. A irrigação é o uso mais importante de água no mundo, sendo que o atendimento a esta demanda pode ser realizado por um ordenamento do uso ou da oferta. No Rio Grande do Sul, a irrigação do arroz atinge uma superfície de cerca de um milhão de hectares e representa praticamente a totalidade do uso da água anual de algumas bacias, concentrada em poucos meses. Sendo a distribuição da água para irrigação realizada principalmente por canais em terra não revestidos e de pequena declividade, a determinação da quantidade de água derivada apresenta limitantes ao uso de algumas opções correntes, sendo usual a substituição da vazão pela área irrigada como medida proposta para a cobrança pela água.

O estudo analisa o comportamento de irrigantes frente à implantação da cobrança pelo uso da água, determinando o valor referencial para a irrigação do arroz em duas bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul e avaliando a aceitação do valor proposto pelo Instituto Nacional da Água em Portugal. Avalia, também, o efeito da cobrança com a aplicação de valores superiores aos aceitáveis por parte dos irrigantes.

A partir da experiência portuguesa e de casos citados na bibliografia, verifica-se o comportamento do irrigante frente à cobrança por área ou por volume, apontando para a inadequação do parâmetro de superfície irrigada como base da cobrança em termos de eficiência do uso da água no arroz irrigado.

Sobre sistemas coletivos de irrigação, adotados como campo de pesquisa, testa a viabilidade de determinação da vazão a partir de estruturas existentes, definindo-se o comportamento do sistema de distribuição ao longo da safra, a eficiência do operador, a lógica de controle adotada e a vazão específica em diferentes trechos de um sistema público de irrigação no Rio Grande do Sul. Confrontando os resultados obtidos, conclui-se que a estrutura implantada não permite uma gestão eficiente da água.

Como alternativa de determinação de vazão, o estudo apresenta solução simples e acessível para canais não revestidos, de baixo custo, fácil construção, pequena perda de carga e nenhuma interferência no transporte de material sólido pela água de irrigação, cuja precisão é equivalente a obtida com outras estruturas.

## **ABSTRACT**

One of the management tools that helps to increase the efficiency in the use of hydrological resources is the charge based in the user/payer principle. This definition can be found in proposals of basin plans with different charge criteria, both in terms of amount and charge units. Irrigation is the most important of all water uses in the world, and the satisfaction of this demand can be obtained through the planning of use or supply. In Rio Grande do Sul, rice irrigation covers about one million hectares and represents practically the whole water use of certain basins, concentrated over a few months. With the distribution of water for irrigation done mainly through underground uncovered channels with low declivity, the options for determining the amount of derived water are limited, being common the substitution of water flow for irrigated area as a proposed measure for the water charge.

This study analyses the irrigant's behavior face to the implementation of the water charge, determining the referential value for rice irrigation in two hydrographical basins of Rio Grande do Sul and evaluating the acceptance of the value proposed by the National Water Institute of Portugal. Moreover, this study evaluates the effect of the charge with superior values as the ones accepted by the irrigants. From the Portuguese experience and the cases referred to in the bibliography, the behavior of the irrigant face to the charge per area or volume act can be verified, which points out that the parameters of irrigated surfaces are inadequate in terms of efficiency of water used for the irrigated rice.

As for the collective irrigation systems adopted as a research field, it examines the viability the determination of flow from the existing structures, defining the performance of the distribution system throughout the crop, the efficiency of the operator, the logic of control adopted and the specific flows in different passages of a public irrigation system in Rio Grande do Sul. By confronting the obtained results, it is possible to conclude that the applied structure does not allow an efficient management of water.

As an alternative for the calculation of the flow, the study presents a simple and accessible solution for uncovered channels, with low-cost, easy building, little charge loss and which would not interfere in the transportation of solid material through the irrigation water, whose precision is equivalent to the one obtained with other structures.

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho é fruto de dois projetos de extensão universitária desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH - junto a sistemas coletivos de irrigação. A partir destes projetos, foi desenvolvida a pesquisa no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum.

A constatação das dificuldades encontradas para a implantação de uma gestão eficiente e uma maior economia de água por parte dos irrigantes levou à formulação dos questionamentos básicos do trabalho e à busca das soluções possíveis, considerando a série de limitantes reais existentes, que envolvem aspectos estruturais, culturais, hidráulicos, econômicos e financeiros.

Por outro lado, a alteração relativamente recente da filosofia de gestão de recursos hídricos no Brasil gerou, por parte de alguns setores, expectativa de solução dos conflitos existentes em algumas bacias hidrográficas, principalmente pela aplicação dos instrumentos previstos na Lei. Esses princípios vêm embasados fortemente em teorias econômicas de maximização do benefício do uso do recurso hídrico e na sólida participação representativa da sociedade organizada, em um sistema descentralizado de gestão e de tomada de decisões. O IPH, por participar ativamente da implantação do sistema integrado de gestão de recursos hídricos e desenvolver uma série de pesquisas sobre o tema, tem um papel estratégico na discussão destes instrumentos e de sua aplicabilidade.

No caso da agricultura irrigada, sobram dificuldades em adotar tais instrumentos, seja por falta de estrutura, de pessoal, recursos financeiros ou equipamentos por parte do Estado, incluindo aí os Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas e as ainda inexistentes Agências de Região Hidrográfica, seja pelo tamanho e dispersão da área irrigada. As soluções atualmente adotadas nas raras bacias que adotam tais instrumentos não são capazes de gerar os efeitos pretendidos, o que, por sua vez, trará mais dificuldades na implantação do sistema como um todo, afetando a sua credibilidade frente à sociedade.

Entender este processo e analisar as soluções possíveis, com graus de precisão e custos adequados à realidade encontrada, foi o desafio levado para a pesquisa, dentro da visão indissociável que esta tem com a extensão universitária. O resultado disto será, por sua vez, levado ao ensino técnico, de graduação e de pós-graduação, encerrando a primeira

volta desta espiral, que espera-se seja percorrida muitas outras vezes, em aproximação crescente com a produção de um conhecimento cada vez mais sólido e de fronteira.

A pesquisa realizada dividiu-se em ensaios a campo e em laboratório, além de entrevistas com pessoas-chave na gestão dos perímetros utilizados na avaliação. Com o apoio da CAPES e da Universidade de Évora, foi realizado um estágio de doutoramento com a duração de cerca de quatro meses, período no qual foram utilizadas as instalações daquela Universidade e, especificamente, do Núcleo de Hidráulica e Controlo de Canais, o que foi fundamental para a evolução da proposta de solução aqui apresentada. No retorno de Portugal, as pesquisas avançaram nas instalações do IPH e do Distrito de Irrigação do Chasqueiro, de responsabilidade da Universidade Federal de Pelotas.

Buscar as raízes da situação encontrada na realidade constituiu uma etapa muito rica deste processo. A opção adotada na revisão bibliográfica foi a de buscar informações existentes à época de implantação dos projetos analisados, de forma a avaliar se foi a falta ou carência de informações técnicas que gerou as concepções de projeto e de gestão da irrigação adotadas. Isso levou à aquisição de muitos materiais em sebos (ou, na linguagem lisboeta, alfarrabistas) e pesquisa de obras antigas em acervos digitalizados de universidades americanas, complementados com a tradicional varredura em revistas científicas atualizadas. Com isso foi possível estabelecer alguns contrapontos importantes entre diferentes formas de entender a gestão da irrigação, notadamente entre uma escola europeia mediterrânea e outra do oeste americano e entre estas e a realidade da lavoura de arroz do Rio Grande do Sul.

Por outro lado, na avaliação econômica do problema proposto, as mesmas escolas apresentam propostas distintas, que influenciam diferentes proposições atuais de gestão de recursos hídricos.

Por fim, realizou-se uma proposta de solução para a falta das informações necessárias para a gestão pretendida, mas com um foco regional, que considera as dificuldades e limitações impostas pela lavoura de arroz, à qual foi dado o nome do IPH.

O trabalho é dividido conforme apresentado no sumário. O capítulo 1 apresenta o tema da pesquisa, que é a análise da aplicação do instrumento econômico de cobrança pelo uso da água na irrigação com base na determinação de vazão e seus condicionantes. O capítulo seguinte traz os objetivos da pesquisa e a formulação da hipótese básica analisada, a partir da qual foram formuladas as questões que deveriam ser respondidas ao final da análise. A importância do estudo é discutida no capítulo 3, que também coloca a

situação atual e as dificuldades encontradas para a aplicação do princípio econômico estudado.

O capítulo 4 apresenta informações sobre os processos de gestão, a instrumentos de gestão de recursos hídricos, a estruturas hidráulicas e à lavoura de arroz irrigado. As pesquisas realizadas, sua metodologia, resultados encontrados e discussão são apresentados nos capítulos 5 e 6.

Os capítulos 7 e 8 trazem a conclusão e as recomendações de aplicação e sequência do estudo. Finalmente, o nono capítulo apresenta as referências citadas ao longo do texto.

Por sugestão da banca examinadora, o título original *Medição de vazão em canais não revestidos e o princípio usuário-pagador como instrumentos de gestão da água em sistemas coletivos de irrigação*, foi substituído por um mais curto, adotando-se na versão final *Cobrança por volume em sistemas coletivos de irrigação como instrumento de gestão da água*.

## 1. INTRODUÇÃO

*Starvation is the characteristic of some people  
not having enough food to eat.  
It is not characteristic of there being  
not enough food to eat.  
Amartya Sen (UNESCO, 2006)*

Os problemas referentes à gestão dos recursos hídricos em diversas partes do mundo são bem conhecidos, mas com tendência geral de agravamento. Na apresentação do dia mundial da água de 2009, coloca-se que ocorreram 37 guerras pela água nos últimos 60 anos. (UNITED, 2009).

Dentre os usos da água, a irrigação representa 70% das derivações de água (UNESCO, 2006), sendo que no Brasil este percentual é de 60% (Lima et alli, 1999). No oeste dos Estados Unidos, esse uso atinge 85% do uso da água (Sammis e Mott, 1994). Em bacias específicas, este valor é ainda mais alto, como na bacia do rio Quaraí, onde a irrigação é responsável por 98% do consumo anual (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2008), sendo que no período de verão a demanda de água é cerca de 2.200% superior ao valor da vazão com 95% de permanência (Q<sub>95%</sub>).

Os dados das UNESCO (2006) sobre a fome no mundo relembram a profecia de Malthus: para satisfazer a necessidade de alimentos entre 2000 e 2030, a produção agrícola deveria aumentar 67% nos países em desenvolvimento; mantida a atual taxa de crescimento, esse acréscimo será de apenas 14%.

Portanto, em uma competição pelo uso da água com outros setores econômicos, a irrigação necessita ser cuidadosamente analisada no momento da sociedade decidir qual uso da água trará mais benefícios. A eficiência do uso da água na agricultura irrigada, no entanto, apresenta valores abaixo do tecnicamente possível, revelando que parte importante do que é retirado dos cursos d'água superficiais ou dos aquíferos não é utilizado pelas culturas e não gera, na maior parte dos casos, qualquer benefício econômico e em detrimento de outros usos concorrentes.

No documento *Water, a shared responsibility*, a UNESCO (2006) apresenta as preocupações mundiais sobre a água. Para a irrigação, o estudo cita:

- As instituições vinculadas à irrigação devem responder às necessidades dos produtores, com fornecimento adequado de água, ampliando a transparência na gestão e equilibrando eficiência de uso e equidade no acesso à água. Isso requer mudanças de

atitudes e investimentos em modernização da infra-estrutura, reestruturação institucional e melhoria da capacidade técnica de agricultores e gestores;

- O setor agrícola deve passar por uma complexa mudança: produzir mais alimentos de melhor qualidade com menor uso de água por unidade produzida; proporcionar melhores condições de vida para a população rural; aplicar tecnologias limpas e sustentáveis; contribuir de forma produtiva para a economia local e nacional;
- São necessárias ações imediatas para adaptar as políticas agrícolas e de desenvolvimento rural, acelerar as mudanças na gestão da irrigação, e, por meio de leis sobre a gestão de recursos hídricos e arranjos institucionais adequados, apoiar a gestão integrada das necessidades sociais, econômicas e ambientais das populações rurais.

O aumento da eficiência do uso da água na irrigação pode representar uma maior disponibilidade de água para os outros usos em uma bacia hidrográfica e uma maior rentabilidade econômica pelo seu uso, com resultados positivos para os produtores rurais e para a sociedade.

Uma possibilidade indicada na maior parte dos estudos e prevista na legislação é a aplicação do princípio usuário-pagador como elemento indutor ao uso eficiente da água. A sua adoção na agricultura irrigada deve ser baseada no consumo e no valor da água, determinados por metodologias que possibilitem o alcance dos objetivos pretendidos. A partir disto, é lógico que se verifiquem a forma de medição dos volumes utilizados nas lavouras e o efeito que essa cobrança trará no consumo de água e no comportamento dos irrigantes e seu reflexo na economia regional.

No Rio Grande do Sul, a irrigação concentra-se na cultura de arroz e no método de irrigação por inundação. Os sistemas de distribuição de água são formados basicamente por canais em terra não revestidos e praticamente inexitem estruturas de medição de vazão. Além disto, as estruturas parcelares de tomada de água são rústicas, sem um padrão definido. Estes fatos, aliados às oscilações do nível da água nos canais de distribuição, remetem a uma dificuldade da determinação ao menos aproximada do consumo de água, o que leva à simplificação da cobrança, que passa a ser realizada por área cultivada.

O presente estudo discute a cobrança pela água de irrigação e sua capacidade de influenciar no consumo de água de irrigação em projetos atendidos por sistemas de canais não revestidos. Além disto, avalia uma possibilidade de mensuração do consumo de água de baixo custo para estes canais.

Como campos de estudo, foram analisados projetos públicos de irrigação de Portugal e do Brasil nos quais o arroz é uma cultura importante em termos de área cultivada.

Verificou-se que (i) externalidades econômicas interferem na disposição a pagar pela água consumida, alterando o comportamento dos irrigantes e o poder do instrumento de cobrança pela água de induzir um uso mais eficiente; (ii) a cobrança simples por área irrigada não altera o consumo de água; (iii) uma taxa mais elevada pelo uso da água retirará do mercado produtor os agricultores de menor porte, aqueles que não recebem subsídios e os que têm um excedente do produtor muito pequeno; e (iv) o dispositivo proposto é capaz de estimar a vazão com uma precisão adequada ao propósito.

Esta pesquisa contou com o apoio da CAPES/MEC, por meio do Programa de Estágio no Exterior em Doutorado – PDEE.

## 2. OBJETIVOS

O presente estudo tem por objetivo principal avaliar a alteração na gestão da água em canais de irrigação não revestidos a partir da aplicação do princípio usuário pagador, com base no volume consumido.

Os objetivos específicos são:

- Comparar a gestão de perímetros irrigados localizados no Brasil - Rio Grande do Sul - e em Portugal, nos quais o arroz tem papel de destaque entre as culturas exploradas;
- Propor uma estrutura de medição de vazão em canais não revestidos;
- Analisar valores referenciais de taxa de cobrança pelo uso da água na irrigação da lavoura de arroz.

A hipótese básica formulada é a de que o princípio usuário-pagador é um instrumento poderoso para aumentar a eficiência do uso da água na irrigação pela participação efetiva do irrigante, *desde que a cobrança seja implantada por volume efetivamente consumido*. Com isto, aplica-se a lógica da economia na gestão da água, base do princípio adotado, e insere-se um agente interessado na redução do volume recebido do sistema de irrigação, que é o irrigante.

A partir desta hipótese, devem ser respondidas as seguintes questões:

- Quanto cobrar?
- Como determinar a unidade de cobrança?
- Qual o efeito dessa cobrança na economia regional?
- Qual é o efeito da cobrança no comportamento do irrigante?

Embora pareça ser óbvia a validação da hipótese formulada, isso não corresponde à realidade brasileira e da maioria das áreas irrigadas que utilizam sistemas de distribuição por canais e irrigação superficial. Primeiro, porque a cobrança por volume não é aplicada na maior parte dos casos por falta de instrumentos confiáveis, aplicáveis em canais de irrigação e de valores acessíveis ao irrigante ou à instituição responsável pela cobrança. Segundo, porque o princípio usuário-pagador pode levar a valores de cobrança insustentáveis para a agricultura irrigada. Em casos onde isto ocorreu, a redução do consumo de água é resultante do abandono de áreas irrigadas ou da alteração da cultura explorada, e não pelo aumento da eficiência do uso da água. Abandonos de área irrigada, por sua vez, podem trazer efeitos econômicos importantes e indesejáveis para a bacia

hidrográfica. Por outro lado, se o valor cobrado for muito pequeno, não haverá alteração significativa no consumo das lavouras. Dentre estes limites está o campo de validação ou não da hipótese: a determinação de uma faixa referencial de valores que podem ser adotados para cobrar a água de irrigação utilizada na lavoura de arroz capazes de levar à economia da água por aumento de eficiência, desde que acompanhada ou baseada na medição de vazão ou no volume consumido. As dificuldades encontradas para realizar essa determinação de vazão ou volume são inerentes às características hidráulicas dos canais e as dimensões dos sistemas. Mesmo quando as demandas são conhecidas, a eficiência da alteração das variáveis de controle da irrigação depende do tempo necessário para a obtenção de uma nova condição estável e do tempo necessário para que o volume adicional de água chegue até aos pontos de controle considerados. Além disto, a medição da vazão em canais abertos e não revestidos apresenta dificuldades, como custo e fragilidade dos equipamentos eletrônicos, a falta de precisão em instalações mais rústicas ou a interferência excessiva no comportamento hidráulico do canal. O tempo de resposta normalmente elevado entre a alteração de vazão na estrutura de comando e a sua percepção no ponto de controle, limita a utilização de soluções adotadas para outras formas de condução de água. No entanto, Bautista et alli (2003) demonstram que estratégias de manejo da água podem ser implementadas com sucesso em canais abertos e na gestão *on farm*, com a adoção de um controle programado e com antecipação de manobras, considerando o tempo necessário para a observação da alteração da vazão no ponto de controle.

A hipótese negativa é a de não cobrar pelo volume consumido, uma vez que a cobrança em si é definida por leis federais e estaduais e não pode ser desconsiderada. A possibilidade restante é a manutenção da cobrança por área irrigada, mantendo o irrigante em uma posição passiva quanto à gestão da água.

Para realizar a avaliação dessas hipóteses, foram realizados ensaios, levantamentos e entrevistas nos dois países, junto a produtores de arroz e gestores de sistemas coletivos de irrigação.

### 3. JUSTIFICATIVA

A demanda por água em todo o mundo vem se ampliando, mesmo que a disponibilidade hídrica seja limitada. A geração de conflitos pelo uso da água coloca em oposição principalmente usuários urbanos e outros usuários, dentre estes os irrigantes. A agricultura irrigada utiliza a maior parte da água doce do mundo, sendo o uso mais importante em muitos países. Nos Estados Unidos, a utilização da água para agricultura irrigada representou 65% do volume de água doce derivado no ano de 2000, excluindo do total analisado a utilização de água na geração termoelétrica. No oeste americano, a irrigação teve que elevar a sua eficiência para reduzir os conflitos com os usos urbanos, como o abastecimento humano e industrial.

Essa elevada participação no consumo hídrico observado em diversas bacias leva a considerar que a implantação de estruturas e a execução de políticas de economia de água na irrigação terão um efeito importante na disponibilidade hídrica para outras atividades econômicas e para a conservação ambiental. No entanto, pela sua importância estratégica, uma redução no fornecimento de água não pode significar redução na produção de alimentos ou de matéria prima para a indústria.

Segundo Clemmens (2002), poucos estudos são realizados para a conservação de água utilizada na agricultura. Há situações em que, certamente, a melhoria da distribuição da água para irrigação reduzirá a utilização de água ou a degradação da qualidade da água.

Clemmens e Dedrick (1992) afirmam que a medição do volume de água consumido é um dos fatores que levam o irrigante a consumir menos água em uma safra e que esta informação também é utilizada em tomadas de decisão posteriores.

Em relação à capacitação técnica para a irrigação, principalmente em relação a projetos coletivos de irrigação, observam-se lacunas na formação dos profissionais que atuam na área. Relembrando a implantação do Programa Nacional de Irrigação – PRONI, entre 1986 e 1989, verifica-se que a formação de mão de obra especializada no País é realizada principalmente por demanda, não persistindo uma estrutura específica de estudo e ensino de irrigação. Naquela época, dezenas de engenheiros foram treinados em irrigação e drenagem, mas de forma isolada e não continuada. No caso do Rio Grande do Sul, esta carência é ainda mais evidente, com a exceção da atuação do IRGA, mas que tem foco mais no produtor isolado.

A discussão sobre formas de comando e controle da irrigação em canais de irrigação é básica para a concepção do sistema de canais, mas não aparece em nenhum

livro brasileiro sobre irrigação consultado. O Manual de Irrigação, tradução do material do Bureau of Reclamation, realizada no âmbito do PRONI, é uma exceção, mas, por já assumir uma filosofia básica de operação e distribuição, não detalha estes conceitos da mesma forma que a bibliografia européia.

No Rio Grande do Sul, existem muitos sistemas coletivos de distribuição de água para a lavoura de arroz, que são operados por particulares e alimentados a partir de reservatórios ou por instalações de recalque. Pode-se, preliminarmente, definir que a lógica desses sistemas coletivos de irrigação é o comando por montante, tendo em vista que o manejo da tomada de água da barragem ou da estação de recalque é a principal forma de alteração da vazão. A partir da alteração da vazão, as operações necessárias vão sendo executadas de montante para jusante. O controle pode ser definido como de jusante, realizado pela manutenção de um nível constante a jusante das tomadas, supostamente relacionado com uma vazão necessária, a partir da operação das estruturas de controle (comportas transversais ou trancas). Considerando este nível, são abertas as tomadas de água. Os irrigantes, na maior parte dos casos privados, podem exercer o controle local, alterando a abertura das bocas nas taipas. Também poderia ser considerado que o controle é de montante, se o gestor busca manter um nível constante à montante das estruturas transversais, independente do nível do canal junto às tomadas dos irrigantes.

A distribuição poderia ser considerada como sendo de vazão fixa, com frequência anual. Observa-se, na realidade, que a vazão inicial é mais elevada, reduzindo-se na medida em que as perdas por infiltração estabilizam. A lógica de aumento ou redução da vazão depende do manejo da lavoura, que pode ser alterada repentinamente na ocorrência de pragas ou pela definição da necessidade de adubação de cobertura, entre outros tratamentos culturais, bem como acidentes por ocorrência de chuvas intensas, que podem exigir a interrupção da irrigação por um curto período ou a exigência de um volume maior de água para retomar a condição de inundação.

O controle da água na parcela é realizado pela abertura ou fechamento de bocas no lado oposto ao da entrada da água, retirando a água para os canais de drenagem ou esgotos da lavoura. Em muitas situações, o canal de drenagem de uma lavoura será o canal de irrigação de outra parcela, sendo que não são raros os casos de bombeamento da água da água drenada para alimentar canais de irrigação mais elevados ou outras parcelas de forma direta. A complexidade deste sistema, aliada a simplicidade das estruturas, indica uma natural baixa eficiência no uso da água.

Após a consolidação do conceito de que a água detém valor econômico e é um elemento finito, as estratégias de planejamento passaram a considerar, de forma mais efetiva, a eficiência de seu uso. O princípio usuário - pagador reflete essa condição, pelo qual os consumidores de água de uma bacia devem pagar em função do volume retirado das fontes naturais ou dos reservatórios.

Na composição desse volume, há a influência de diversos fatores: a evapotranspiração, a porosidade do solo, a drenagem interna do solo, a altura da lâmina mantida sobre o solo e o manejo da irrigação. Em relação à porosidade e à drenagem interna, poucas são as possibilidades práticas de alteração. A mudança da época de plantio e a variedade cultivada são exemplos de mudanças que podem ser implementadas pelos agricultores quanto à redução da evapotranspiração, e, por consequência, do volume consumido. No entanto, a definição da época do plantio não é uma decisão que dependa apenas da vontade do agricultor, sendo limitada pelo conteúdo de água do solo, disponibilidade de crédito, ocorrência de chuva ou baixas temperaturas, entre outros fatores. Dessa forma, não pode ser considerado como uma prática que possa resultar em reduções significativas do consumo de água para a totalidade das bacias.

A altura da lâmina e o manejo da irrigação são os componentes do consumo que podem ser gerenciados pelo irrigante, desde que este disponha de informações suficientes e precisas. Os diferentes métodos de plantio e de manejo da irrigação existentes dispõem de informações de pesquisa sobre consumo, mas que não estão de acordo com as práticas correntes de grande parte dos orizicultores. Assim, a redução do consumo por adoção dessas práticas inicia pelo cálculo do consumo, em condições reais, para cada conjunto de práticas de irrigação e métodos de plantio adotados.

O interesse dos agricultores na busca pela economia de água não está vinculado, em um primeiro momento, aos aspectos ambientais ou ao valor econômico da água, mas à necessidade financeira de reduzir os custos de produção do arroz, já que os preços pagos ao produtor têm-se apresentado em patamares muito aquém dos valores médios históricos. Como uma grande parte da irrigação do arroz no Rio Grande do Sul depende de recalque mecânico, com o uso de motores a diesel ou elétricos, a redução do volume implica em uma diminuição direta dos desembolsos do agricultor. O mesmo não ocorre, no entanto, se o produtor recebe água de um sistema coletivo por meio de canais cuja alimentação não esteja a seu cargo.

A aplicação do princípio usuário-pagador não é realizada apenas para arrecadação de recursos, mas para orientar o uso da água de forma que atenda mais interesses sociais do que individuais. O seu resultado, no entanto, depende da sua capacidade de alteração do comportamento dos irrigantes.

Atualmente, as propostas de cobrança para o setor de irrigação são, predominantemente, por área irrigada. A utilização da área irrigada como unidade de consumo deve-se à dificuldade de realizar o controle do volume de água consumido nas lavouras, seja pela extensão territorial que ocupam, seja pela irregularidade e falta de padronização das estruturas de controle e gestão existentes. Não havendo uma vinculação clara entre o uso e a unidade de cobrança, não há porque esperar uma redução de consumo, que pode, inclusive, ser elevado por indução de um pagamento pelo uso sem controle de vazão.

A junção de uma unidade de cobrança incapaz de levar ao uso eficiente da água, das dificuldades impostas, nos sistemas coletivos de irrigação, por um sistema comandado por montante e regulado por jusante e da falta de opções adequadas à situação da lavoura de arroz para medir a vazão ou o volume consumido leva a um quadro de uso de água excessivo, com elevados índices médios de perda, e a conflitos pelo uso da água na época de irrigação.

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica que é apresentada a seguir traz a discussão sobre os diversos temas envolvidos na gestão de sistemas de irrigação, como condução da água em canais, hidráulica de estruturas de medição e a própria gestão em si, com suas diferentes formas de execução. Para subsidiar a compreensão da aplicação do princípio usuário-pagador (PUP), além do princípio em si, são discutidas questões sobre eficiência da irrigação, formação de preço da água, reflexos no comportamento dos irrigantes, entre outros. Por fim, sendo o estudo focado na lavoura de arroz irrigado, é necessário apresentar os elementos básicos sobre esta atividade agrícola. Este conjunto de temas é necessário para a compreensão do conjunto final pretendido, que permite a validação ou não da hipótese estabelecida. Por ser uma parte extensa do trabalho, decidiu-se pela elaboração de um esquema base de relações entre os itens, de forma a facilitar a leitura.

O item 4.1 apresenta o princípio usuário-pagador - PUP, seu embasamento legal e algumas experiências referentes a sua aplicação, tanto nacionais como internacionais. Desta análise, são retirados os referenciais para a aplicação de questionários junto a irrigantes e gestores, que geram as condições de validação da hipótese, bem como permitem entender a complexidade de sua aplicação na situação atual dos sistemas de irrigação em canais não revestidos. Um destaque é dado sobre a unidade de cobrança a ser adotada.

O valor da água para irrigação é discutido no item 4.2, onde são apresentados estudos realizados principalmente no Rio Grande do Sul e na Europa. A definição destes valores fundamenta a aplicação da metodologia de valoração da água junto aos gestores dos projetos coletivos analisados.

Os projetos coletivos de irrigação são apresentados no item 4.3, apresentando os conceitos básicos existentes por trás da concepção das redes de distribuição e das estruturas de controle. A importância desta análise é a posterior relação que se faz com os mecanismos de entrega de água e a possibilidade de aplicação do PUP nos sistemas coletivos, uma vez que nestes casos há um responsável pelo volume entregue a cada irrigante e sua atuação passa a ser fundamental em um possível processo de implantação da cobrança pela água.

Introduzindo a questão hidráulica na análise pretendida, o item 4.4 apresenta o comportamento dos sistemas de distribuição por canais e dos canais não revestidos,

indicando os processos de alteração das variáveis hidráulicas envolvidas no processo de distribuição de água.

Já o item 4.5 trata da eficiência da irrigação, detalhando seus componentes e valores referenciais. Na sequência, no item 4.6, discute-se especificamente a eficiência em sistemas de irrigação coletivos, considerando-se as estruturas de reservação e distribuição. O item 4.7 apresenta a lavoura de arroz, que é a situação detalhada no estudo, dada a sua importância para gestão das águas no Rio Grande do Sul. Nessa parte, são tratadas as peculiaridades de sua condução e apresentados os dados sobre o consumo de água dessa lavoura. Os itens 4.8 e 4.9 trazem, respectivamente, a caracterização dos sistemas coletivos de irrigação no Rio Grande do Sul e em Portugal, referindo-se mais detalhadamente aos que foram visitados durante esse trabalho. Por fim, o item 4.10 retoma a questão hidráulica, focando desta vez os medidores de vazão. Inicialmente, estes são descritos de forma ampla, passando à situação específica dos canais em terra não revestidos e suas peculiaridades.

#### 4.1. O princípio usuário pagador

A alteração na legislação sobre gestão de recursos hídricos no Brasil, iniciada com a Constituição Federal de 1988, introduziu novos instrumentos, novas instituições, criando todo um novo sistema de abrangência nacional.

Sousa Júnior (2004) cita que o Sistema Nacional de Recursos Hídricos baseia-se, além da outorga, já prevista no Código de Águas de 1934, e da cobrança, objeto de interesse mais próximo deste estudo, em três outros instrumentos:

- um sistema de informações em recursos hídricos;
- os planos de recursos hídricos;
- o enquadramento das águas.

A sequência lógica de implantação dos instrumentos proposta pelo autor é:

- a. Sistema de informações sobre recursos hídricos, com dados hidrológicos, econômicos, sociais e ambientais sistêmicos, incluindo também o cadastro de usuários;
- b. Enquadramento das águas, definido pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica;
- c. Plano de Recursos Hídricos, consistindo de um planejamento estratégico que resume os objetivos, as metas e os métodos a serem adotados para diversos indicadores de situação da bacia;
- d. Outorga, que deve ser baseada em informações técnicas relevantes; e
- e. Cobrança pelo uso da água, última etapa do ciclo inicial, que deve assegurar os recursos necessários ao funcionamento do sistema.

Dos instrumentos aplicáveis, a cobrança aparece como o que suscita maior interesse e gera mais polêmicas (Sousa Júnior, 2004). Além da confusão com as tarifas pagas por serviços de abastecimento e distribuição de água, há a falta de informação de parte da população e de usuários sobre a cobrança em si, sobre o sistema de gerenciamento de recursos hídricos e sobre a existência e função dos Comitês de Bacia.

Carrera-Fernandez e Garrido, citados por Bernardi (2003), colocam que a cobrança pelo uso da água é um dos instrumentos mais importantes na gestão dos recursos hídricos, pois concorre para que ocorra o equilíbrio entre oferta e demanda na bacia ou na região hidrográfica. Além disso, atua como mecanismo *eficiente* para a redistribuição dos custos sociais de forma mais equitativa; para disciplinar a localização dos usuários; para

promover o desenvolvimento regional integrado nas suas dimensões social e ambiental; e para incentivar a melhora dos níveis de qualidade dos efluentes lançados nos mananciais. A falta do respaldo da opinião pública, a possibilidade de não consideração de especificidades de setores e uma simplificação excessiva dos modelos de simulação ou dos processos de valoração da água podem gerar, além de reações contrárias, uma baixa credibilidade da aplicação do instrumento, inviabilizando a sua implantação e a existência do próprio sistema como proposto.

No Brasil, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos está definida nos seguintes artigos da Lei Federal 9.433/1997:

#### *DA COBRANÇA DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS*

**Art. 19.** *A cobrança pelo uso de recursos hídricos objetiva:*

*I - reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;*

*II - incentivar a racionalização do uso da água;*

*III - obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.*

**Art. 20.** *Serão cobrados os usos de recursos hídricos sujeitos a outorga, nos termos do art. 12 desta Lei.*

**Art. 21.** *Na fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser observados, dentre outros:*

*I - nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação;*

*II - nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente.*

**Art. 22.** *Os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos serão aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados e serão utilizados:*

*I - no financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos nos Planos de Recursos Hídricos;*

*II - no pagamento de despesas de implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.*

*§ 1º A aplicação nas despesas previstas no inciso II deste artigo é limitada a sete e meio por cento do total arrecadado.*

*§ 2º Os valores previstos no caput deste artigo poderão ser aplicados a fundo perdido em projetos e obras que alterem, de modo considerado benéfico à coletividade, a qualidade, a quantidade e o regime de vazão de um corpo de água.*

Para cumprir o disposto no artigo 19, é necessário estimar o valor da água para a sociedade. O princípio usuário-pagador (PUP) é uma das três bases da análise custo-benefício do ponto de vista social (Lanna, 1996), acompanhado dos princípios poluidor-pagador (PPP) e beneficiário-pagador (PBP). O PPP é o mais conhecido destes princípios, definido como um instrumento da política ambiental pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE em 1972. Por ele, o poluidor tem duas situações extremas possíveis (Lanna, 1996): pagar por toda a poluição gerada, sem investir nada no tratamento do efluente ou tratar todo o efluente e não pagar nada ao sistema de gestão de recursos hídricos, pois não estará mais poluindo.

O PUP é mais recente que o PPP. Por este princípio, os usuários da água estarão sujeitos à aplicação de instrumentos econômicos para que o uso e o aproveitamento desses recursos se processem em benefício da coletividade. O PUP abre a possibilidade da cobrança por todas as formas de uso e aproveitamento da água, sem questionar se essa cobrança é necessária ou desejável (Santos, 2003, apud Silva et alli, 2007). Para definição de valores, são utilizados indiretamente critérios de preços públicos para financiamento de gastos definidos pela sociedade representada no Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica. Por fim, o PBP onera a sociedade beneficiada com uma ação adotada por um usuário ou um poluidor, sendo que os recursos arrecadados por este princípio podem ser utilizados para subsidiar justamente estas intervenções (Lanna, 1996).

O princípio usuário-pagador é considerado como um mecanismo eficiente para uma melhor alocação de recursos hídricos, a partir da adoção de escalas de taxas que reflitam o custo econômico real da água. Segundo Alvim e Carraro (2006), um bem econômico define tudo que tem utilidade e potencial de suprir uma carência ou uma necessidade. De outra maneira, pelo princípio da escassez, o bem econômico tem uma demanda que excede a oferta, quando o seu preço tende a zero. Isso fará com que um esforço humano e intencional seja realizado para atender esta demanda excedente gerada.

De acordo com os autores, a característica diferencial entre bens públicos e privados está na impossibilidade de exclusão de determinados indivíduos ou de parte da população ao seu acesso. Por outro lado, a água não pode ser enquadrada como bem público, pois, para isto, deveria ser respeitado o princípio da não-rivalidade, ou seja, o fato de um usuário consumir uma certa quantidade de água não impediria a utilização desta mesma água por outro. Assim, a água pode ser considerada um bem privado, o que possibilita a utilização de mecanismos de mercado para definição de seu valor.

De acordo com Machado (2002), o primeiro país a adotar a cobrança da água com o uso do princípio do usuário/poluidor-pagador foi a França, no ano de 1964. No Brasil, destacam-se as experiências do Projeto Rio Doce em Minas Gerais, pioneiro no estudo de critérios de cobrança nos anos 90, utilizando o princípio do poluidor/usuário-pagador, e a do rio Paraíba do Sul (Serrichio et alli, 2005). BRASIL (2001) cita que a cobrança pelo princípio usuário-pagador na França iniciou em 1969 recaindo apenas sobre dois setores: serviços municipais de água e esgoto e indústrias e atividades econômicas similares. A inclusão dos irrigantes é observada apenas em 1986, por interesse deste grupo em participar de políticas de financiamento por parte das agências de bacia. Salienta-se que a categoria dos agricultores foi a única que recebeu mais contribuições da agência do que recolhimento de taxas, no período 1992 a 1996. Das seis agências de água existentes na França, cinco cobravam a água dos irrigantes em 1994.

De acordo com BRASIL (2001), as categorias que pagam pela água na França são:

- Consumidores domésticos dos municípios com mais de 400 habitantes, considerando os aglomerados permanentes e os de ocupação sazonal, como praias e cidades turísticas, esses de forma ponderada pelo tempo de uso;
- Indústrias e atividades econômicas similares, produzindo uma poluição remanescente igual ou maior a 200 equivalentes-habitante;
- Criadores bovino, suíno e avícola, produzindo uma poluição remanescente igual ou maior a 200 equivalentes-habitante;
- Irrigantes
- Setor hidroelétrico
- Centrais térmicas; e
- Centrais nucleares.

De acordo com Alvim e Carraro (2006), a gestão dos recursos hídricos no Brasil teve início na década de 70, a partir de um modelo centralizado nos órgãos públicos federais e com visão estritamente setorial, com os objetivos de controlar episódios de escassez e descontinuidade da oferta de água. Na mesma década, foi implantado o primeiro projeto de irrigação na região semi-árida brasileira (World Bank, 2004)

O exemplo francês foi forte inspirador da legislação gaúcha (Cánepa e Grassi, 2000). O modelo de gestão francês, descentralizado e participativo, apresenta o seguinte esquema geral de cobrança pela água:

a. parte-se de um conjunto de objetivos de longo prazo a atingir, definindo os padrões de qualidade e os usos pretendidos pela sociedade;

b. o Comitê de Bacia, considerando os usos e padrões definidos, com base em estudos realizados pela agência da bacia (ou da região) decide as metas e as intervenções a serem realizadas, cotejando com as taxas necessárias para a indução de comportamentos desejados e dos recursos financeiros da comunidade, seu nível de desenvolvimento, sua preocupação ambiental, as correlações entre as forças políticas, entre outros fatores;

c. a taxa definida para o lançamento de despejos deve ser necessária e suficiente para, de acordo com a curva do custo marginal de controle, induzir as metas de qualidade da água do enquadramento. O total arrecadado é direcionado para um fundo e são repassados para custear as ações necessárias, desde a forma de financiamento a fundo perdido (ou subsídio) até a forma de empréstimo, respeitando o decidido no Comitê de Bacia;

d. a taxa definida para a captação de água é calculada para custear as intervenções projetadas e a economia no consumo da água pretendida pelos usuários;

e. o Estado, em nome da sociedade, deve monitorar as condições dos recursos hídricos, analisando a aproximação da realidade com os objetivos de longo prazo definidos.

A fixação de preço para a utilização da água passa a ser adotada como meio de distribuição dos custos de administração entre os usuários, para proporcionar incentivos ao uso eficiente e como restrição ao mau uso, aos despejos e à contaminação dos recursos hídricos. (Machado, 2002)

Como instrumento econômico, a cobrança deve sinalizar corretamente para a sociedade o uso dos recursos hídricos de forma racional e que atende aos princípios de

desenvolvimento sustentável. De forma ideal, a cobrança deve apresentar efetividade e eficiência econômica e financeira, ter impacto ambiental e ser, ainda, um instrumento prático e com bom nível de aceitação pela sociedade. (Santos, 2002)

Os critérios utilizados pela autora para avaliar a aplicabilidade ou a desempenho de instrumentos econômicos adotado na gestão são os estabelecidos pela OCDE:

- ***Efetividade financeira*** – é função da capacidade do sistema de gestão de gerar receitas para financiamento das atividades necessárias ao alcance dos objetivos para os quais o sistema foi montado, ou seja, depende da capacidade de gerar recursos para o financiamento dos sistemas de fiscalização, monitoramento, licenciamento, recuperação e preservação ambiental;

- ***Eficiência financeira***: relacionada com os custos de transação decorrentes dos encargos gerados para as autoridades responsáveis e para os usuários, isto é, a importância dos custos administrativos e operacionais do sistema frente ao montante de recursos arrecadados;

- ***Eficiência econômica***: para garantir a alocação eficiente do recurso, o preço deve refletir o custo marginal de provisão da água; no caso dos diferentes usos da água, a cobrança deve ter a capacidade de incorporar os custos sociais ou externalidades decorrentes do uso.

- ***Impacto ambiental***: capacidade do *instrumento* de influenciar o comportamento dos poluidores e consumidores de forma a melhorar a qualidade ambiental

- ***Praticabilidade***: caracteriza o quão direto é o instrumento para atingir os seus objetivos. Neste critério, clareza e simplicidade são considerados fatores cruciais que afetam a eficiência administrativa da política.

- ***Aceitabilidade***: como o instrumento é aceito e recebido pelos que são impactados por ele. Idealmente, a implementação deve ser progressiva para permitir o planejamento de longo prazo e evitar grandes aumentos de custos de produção e tornar-se um limitante à competitividade.

Além disto, a autora cita que os instrumentos econômicos devem considerar as seguintes questões:

- *Integração com outras políticas públicas*
- *Consequências econômicas e distributivas*

- *Conformidade com os princípios gerais das políticas fiscais, comerciais e de meio ambiente, nacionais e internacionais.*

De acordo com Santos (2002) os instrumentos econômicos têm grande aceitabilidade na Europa, embora na década passada ainda não tivessem sido plenamente implantados. O setor agrícola é considerado como o mais resistente à implantação da cobrança pelo uso da água, o que é coerente com o seu papel de grande usuário de água e gerador de poluição difusa. Por outro lado, na Europa, é um setor fortemente subsidiado. Em todas as experiências de aplicação de instrumentos econômicos analisados pela autora, o setor agrícola *ou não participa ou tem sido o último a ser incorporado.*

Silva e Pruski (2000) apresentam contestação sobre o sistema de cobranças de tarifas na Espanha, na qual *os* juristas Navarro e Sanagustín afirmam que os baixos valores cobrados e a elevada renda de consumidores de água levavam ao desperdício, sendo necessário adotar a lei de mercado para certos bens públicos e fixação de preços que reflitam os custos de *gestão e transformação.*

De Buffon (1861) apresenta diversos exemplos de cobrança por água para irrigação em canais de irrigação e abastecimento humano no norte da Itália, mas estes custos são relacionados com o serviço de distribuição da água. Por outro lado, os valores também refletem uma consideração de fatores de mercado, pois o valor da água no Grande Canal, próximo à Milão, em 1787, sofreu um reajuste de 450 para 700 *livres milaneses por onça de água*, devido ao aumento de demanda.

Flynn (1892) também apresenta exemplos de cobrança pela distribuição de água no oeste norte-americano, onde a água era cobrada por uma vazão constante cedida por 24 horas, apenas durante o dia, apenas durante a noite ou por acre ao longo de toda a safra. Entre os valores, destaca-se o menor valor cobrado pela irrigação noturna e no período de inverno e as diferenças entre frutíferas e culturas de grão.

A questão do subsídio à agricultura na União Européia assume uma importância destacada a partir da implantação da Política Agrícola Comunitária – PAC. Segundo López (2000), a dependência da produção agrícola da Espanha em relação ao subsídio, nos anos de 95 a 97, era evidente, sendo que apenas a lavoura de arroz recebia subsídios que somavam 44% da renda gerada pela lavoura. O autor conclui que a modificação nos subsídios teria efeitos maiores na economia de água do que incrementos do seu custo para os irrigantes. Albiac et alli (2000) verificaram que a existência da PAC influencia a tomada de decisão dos agricultores, pois com a eliminação das ajudas diretas a

rentabilidade da atividade agrária cai cerca de 45% e a superfície não utilizada de terras triplica. A eliminação das ajudas leva a um aumento da exploração de sequeiro, penalizando, sobretudo, os cultivos irrigados. Por outro lado, a demanda de água tende a permanecer no mesmo valor, devido à redistribuição dos cultivos de acordo com os tipos de solo. Neste cenário, as áreas irrigadas de girassol e alfafa são substituídas por áreas de arroz, que têm um maior consumo unitário de água.

Arrojo (2000) considera que a política indiscriminada de subsídios observada na Espanha no final da década passada gerou a retomada do cultivo de terrenos salinizados ou de baixa qualidade, passando-se a *cultivar literalmente subvenções irrigadas*. Coloca, ainda, que *a aplicação sistemática e generalizada de amplas subvenções públicas a política de irrigação baseada em águas superficiais perverteu o sentido original de interesse público ou interesse geral, desembocando em um modelo ineficiente ou insustentável*.

Segundo a Directiva (2000), *na maioria dos países em desenvolvimento, o crescimento econômico rural é uma condição prévia fundamental para o crescimento econômico geral. A integração da gestão do solo e dos recursos hídricos é essencial para a segurança alimentar e do abastecimento de água, sobretudo em zonas em que há rivalidades em torno dos recursos hídricos, exigindo uma maior eficiência na utilização da água para a agricultura, o setor que mais água doce consome, a fim de reduzir a pressão sobre os recursos*.

Segundo Santos (2002), a gestão de recursos hídricos tem um forte componente executivo (expresso nos planos), enquanto que a gestão ambiental é basicamente regulatória. Por outro lado, a gestão de recursos hídricos incorpora parcialmente a gestão ambiental, por definir a outorga em função de licenciamento ambiental ou padrões de qualidade de água e por definir os valores dos instrumentos ambientais de acordo com cenários de qualidade da água a serem atingidos em prazos definidos.

A Tabela 1 a seguir apresenta a visão da autora sobre a gestão dos recursos hídricos e seus instrumentos.

Por vezes, a preocupação com a gestão das bacias é focada principalmente nos usos mais fáceis de controle. Setti et alli (2001), colocam textualmente que *quando há baixa densidade demográfica, ocupação rarefeita do solo e pouco desenvolvimento industrial, o uso da água não exige maiores cuidados quanto ao controle. À medida que o uso torna-se mais intensivo, é necessária atenção para a proteção dos recursos hídricos*,

*visando o seu aproveitamento racional.* Bacias com uso pouco intensivo do solo, baixa densidade demográfica e incipiente atividade industrial são maioria entre as bacias hidrográficas do sul do Rio Grande do Sul (Santa Maria, Quaraí, Ibicuí, Piratini, Jaguarão, Lagoa Mirim, entre outras). Em algumas destas mesmas bacias, o uso de água só é intensivo em parte do ano, mas o conflito existe, revelando que tal afirmativa não pode ser generalizada.

Tabela 1 – Instrumentos de gestão de recursos hídricos, abordagem, critérios, formas de negociação e interlocutores

Instrumentos de gestão	Abordagem/Critérios	Negociação/Interlocutores
Comando	<p><b>Outorga</b> – baseada em objetivos de qualidade de água (WQO). Análises necessárias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Disponibilidade hídrica x uso solicitado</li> <li>◦ Eficiência do uso</li> <li>◦ Uso solicitado x licenciamento</li> </ul>	Negociação entre usuários, poder outorgante e sociedade civil para fixação dos objetivos de qualidade de água; negociação entre outorgante e outorgado caso a solicitação seja para uso com baixa eficiência ou restrição no licenciamento
Controle	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Automonitoramento das fontes</li> <li>◦ Monitoramento do meio (medições, denúncias)</li> <li>◦ Fiscalização com base na outorga</li> <li>◦ Multas com base na outorga</li> </ul>	Negociação entre usuário e licenciador para definição de Termo de Ajuste de Conduta no caso de não atendimento das exigências
Econômicos	<p><b>Cobrança pelo uso da água</b>, baseada em:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Análises custo-efetividade para atingir os objetivos de qualidade ambiental</li> <li>◦ Rateio de custos de investimentos</li> <li>◦ Restrições derivadas de políticas, do impacto sobre atividades econômicas e outras.</li> </ul> <p><b>Compensação pela redução do uso quantitativo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Baseada em disposição a pagar (DAP) do usuário</li> <li>◦ Restrições de ordem social e política</li> </ul> <p><b>Royalties e compensações financeiras</b> pelo uso da água ou áreas inundadas</p>	Negociação entre usuários, poder outorgante e sociedade civil para fixação de valores de cobrança e critérios de racionamento
Executivos	<b>Planos de investimentos</b>	Objetivos ambientais e econômico-financeiros fixados em negociação entre usuários, poder outorgante e sociedade civil

Adaptado de Santos, 2002.

De acordo com Rogers et alli (2001), existem diversos princípios envolvidos na avaliação do valor econômico da água, desde os custos diretos e indiretos de sua provisão

à garantia de seu fornecimento com a qualidade necessária. Estes podem ser determinados de forma individual para cada setor ou para o sistema como um todo. A estes custos devem ser somados os custos de oportunidade e o valor de usos alternativos. Na existência de um *mercado da água*, este deve estabelecer um equilíbrio entre a oferta e a demanda, desde que existam políticas apropriadas capazes de eliminar o efeito das externalidades. Se estes mercados não existirem, a distribuição eficiente da água pode ser solucionada com a aplicação de modelos de análises de sistemas multi-períodos e multi-geográficos.

Se estes modelos não podem ser aplicados, devem ser estimados os custos de oportunidade da água para os diferentes setores econômicos. Para a irrigação pode-se prever dificuldades em realizar esta estimativa, já que este setor consome cerca de 70% da água utilizada no mundo.

Em relação ao uso da água, a Comunidade Económica Europeia expressa preocupações em escala mundial, em especial a situação dos países em desenvolvimento. Neste grupo de nações, muitas estão em uma fase de transição de um cenário de gestão baseada na oferta para um cenário de gestão baseada na demanda (Comunidade, 2002) o que é descrito como uma *escada de gestão das águas*: quando a procura e a concorrência são baixas, isto é, quando o acesso é relativamente fácil, o custo é baixo e o sistema técnico e institucional pode ser relativamente simples. Uma maior demanda pela água levará inicialmente a necessidade de ajustes técnicos para aumentar a oferta, isto é, ainda mantendo uma fase de gestão orientada para a oferta. Novos aumentos de demanda deverao conduzir a uma concorrência intersetorial e aumento das preocupações ambientais. Estes desafios de gestão não podem ser resolvidos apenas por intervenções orientadas para a oferta, sendo necessário aplicar estratégias de gestão da demanda. Gradualmente, torna-se inevitável fazer a "melhor utilização possível" da água, o que exige a concepção de modalidades institucionais adequadas.

A gestão dos recursos hídricos com vistas a controlar a oferta pode levar a uma situação de inversão dos objetivos pretendidos inicialmente. Arranjo (2000) acrescenta que a irrigação com águas superficiais na Espanha seguiu uma estratégia *de oferta* subvencionada pelo Estado, que gerou uma espiral de demandas, seguindo uma expectativa de custos quase nulos para os irrigantes.

No Brasil, a adoção de um modelo de aumento de oferta, com investimentos públicos, foi acompanhada, a partir da década de 80, de medidas de caráter regulatório, especialmente em relação à preservação ambiental. No entanto, o arranjo institucional implantado demonstrou-se ineficaz no sentido de fazer cumprir essa legislação. A efetiva

mudança da gestão de recursos hídricos foi efetivada no final da década de 90, com a criação do Sistema Nacional de Recursos Hídricos e da Agência Nacional de Águas.

Numa situação de demanda crescente, o desafio consiste em reduzir esta demanda e aumentar, simultaneamente, a produção por unidade de água consumida. A adoção de um valor para a água para todas as suas utilizações e de uma correspondente taxa pelo seu uso, bem como para a aplicação de multas ou taxas pela degradação da água, é a tendência atual em termos de gestão.

UNESCO (2006) apresenta um quadro referencial sobre a gestão de água na irrigação, conforme a Tabela 2.

Verifica-se que o complexo arranjo apresentado inclui os instrumentos já previstos na legislação brasileira, como outorga, licenciamento, cobrança, sistemas de informações e planos de bacia. No nível da gestão dos sistemas de irrigação, verifica-se uma tomada de posição sobre a flexibilidade do fornecimento da água, o que terá, conforme discutido adiante, que considerar a lógica de concepção do próprio projeto de irrigação. Além disso, apresenta a cobrança de tarifas no nível federal e também a possibilidade de subsídios agrícolas.

As decisões relativas aos preços da água, de acordo com Comissão (2002) não devem ser restritas à recuperação dos custos dos serviços, *mas sim incorporar os necessários custos da proteção do ambiente contra os resíduos e a poluição, o "princípio do poluidor-pagador"*. Contudo, também é importante satisfazer as necessidades básicas dos grupos pobres e vulneráveis concebendo as estruturas tarifárias e os sistemas de cobrança de forma apropriada. Dada a sensibilidade das questões relativas aos preços, há que desenvolver os mecanismos de fixação dos preços de forma transparente, com a participação dos utilizadores, incorporar incentivos adequados e introduzir os novos regimes de preços de forma faseada.

Tabela 2 - Governança da água na agricultura, em diferentes níveis institucionais

	Água	Terra	Infraestrutura	Serviços prestados pelo mercado
Produtor	Acesso à água, direito à água, mercados de água	Acesso à terra, posse da terra, tamanho da propriedade	Acesso à tecnologia, incluindo irrigação	Acesso a insumos e aos mercados consumidores
Associação de produtores	Direito à água, distribuição da água, equidade, contabilidade		Perímetros irrigados	Cooperativas de produtores, associações, previsão meteorológica
Gestor do sistema de irrigação	Pontualidade, equidade e flexibilidade da distribuição da água	Métodos produtivos e licenciamento	Gestão do sistema de distribuição e sua manutenção; recuperação de custos; transparência, contabilidade	Estradas e outras estruturas do perímetro
Governo local	Outorga e licenciamento, resolução de conflitos	Planejamento do uso da terra	Descentralização, desenvolvimento de novas estruturas	Infra-estrutura de comercialização e transporte; acesso a financiamentos, informações de mercado
Autoridade da bacia	Alocação setorial da água; monitoramento da qualidade de água; preservação da qualidade da água	Conservação do solo, proteção contra erosão	Planejamento das infra-estruturas principais; desenvolvimento e gestão	
Governo nacional	Política de água e legislação; arranjo institucional	Política de uso da terra e legislação; cadastro; planejamento do uso da terra	Política e legislação de descentralização; desenvolvimento de infra-estrutura; recuperação de investimentos; mecanismos de financiamento de infraestrutura; acesso a recursos para agentes locais	Políticas e legislação sobre segurança alimentar, desenvolvimento rural, fomento - tarifas e subsídios; autosuficiência alimentar; financiamento rural
Nível regional	Bacias transfronteiriças, segurança de abastecimento		Infra-estrutura de compartilhamento da água transfronteiriça	Acordos regionais de fomento
Global	Segurança internacional e solidariedade			Subsídios agrícolas e tarifas

UNESCO (2006), página 246.

A água, no entanto, apresenta características que dificultam a fixação deste preço (Alvim e Carraro, 2006). A água tem várias utilidades, podendo ser utilizada para abastecimento humano, industrial, dessedentação animal, irrigação, diluição de esgotos, preservação de ambientes, navegação, entre outros. A oferta natural da água neste “mercado” é normalmente instável, pois sofre significativas variações quali-quantitativas no espaço e no tempo.

Segundo o Consórcio Catamayo-Chira (2005), a tarifa da água na agricultura irrigada cumpre três funções básicas: econômica, financeira e social.

A **função econômica** busca o uso eficiente da água; a expressão deste valor é o preço marginal, que por sua vez é igual ao “custo marginal” da água (“valor marginal social líquido” do recurso água, tomando em conta os efeitos secundários positivos e negativos. Se a tarifa é maior do que o custo marginal se utilizará menos água; por outro lado, se a tarifa é menor que o custo marginal se utilizará mais água e haverá o desperdício do recurso.

Na função econômica, o valor da água tende a ser elevado e é definido pelas condições intrínsecas da água, que é indispensável para a produção agrícola irrigada, a geração de energia elétrica, o abastecimento de água potável, e ao mesmo tempo, por ser um elemento muito escasso em algumas situações, seja no espaço, seja no tempo.

A **função financeira** da tarifa é a recuperação de custos de investimentos, de administração, de operação e manutenção dos sistemas de irrigação e das obras acessórias construídas por causa destes sistemas. Por fim, a **função social** é geralmente atribuída à agricultura e tem por objetivo garantir a distribuição equitativa do recurso disponível entre os agricultores. A definição desta parcela é realizada considerando a capacidade de pagamento e/ou o benefício adicional recebido pelos agricultores devido ao uso da água na produção agrícola irrigada.

O custo total da água deve ser avaliado em unidades monetárias por m<sup>3</sup>, desde que se disponha de estruturas de medição e controle da água entregue a cada usuário. No caso contrário, a cobrança na agricultura pode ser, opcionalmente, por área irrigada, a partir da adoção de um valor médio de consumo de água por hectare. A parcela social, ao considerar a capacidade de pagamento, pode influenciar a tarifa para cima ou para baixo, de forma a

não inviabilizar a produção dos agricultores mais pobres ou com menor rentabilidade na exploração agrícola.

Segundo Rogers et alli (2001), os custos totais são representados por:

- Custo de oferta total – inclui os custos associados ao abastecimento de água, sem considerar as externalidades nem os custos alternativos da água. Este custo aproxima-se do custo marginal de longo prazo da água e é composto por dois itens distintos:

- Custo de operação e manutenção – considera os gastos com energia elétrica, o trabalho envolvido, os materiais e insumos necessários para o manejo e operação das plantas de tratamento de água, distribuição e armazenamento;

- Custos de capital – referem-se aos custos de depreciação e de juros referentes ao capital utilizado na implantação das estruturas necessárias para efetuar o abastecimento de água.

- Custo econômico total – é obtido pela soma do custo de oferta total com o custo de oportunidade associado ao custo alternativo do mesmo recurso (água) e as externalidades econômicas impostas.

- Custo de oportunidade – este custo existe pelo fato de que se um setor consome o recurso água, está impedindo o seu uso por um outro setor. Se este último valora mais a água, existe um custo que a sociedade arca, gerado por esta distribuição de água por um menor valor. Este custo será nulo se não houver escassez de água. A não inclusão dos custos de oportunidade leva a uma sub-estimação do valor da água e leva à má distribuição do recurso. Para a irrigação, este valor pode ser de difícil mensuração, pela importância do volume consumido, entre 60 e 80% do volume total utilizado em algumas bacias.

- Externalidades econômicas – as externalidades possíveis no caso da água são muitas, desde as positivas, como a recarga dos aquíferos pela percolação profunda da água de irrigação, às negativas, como a contaminação por despejos de uma cidade a montante ou pela contaminação da água subterrânea com sais, observada nas áreas irrigadas.

- Custo total do consumo de água – é obtido pela soma do custo econômico total com as externalidades do meio ambiente, que considera os impactos causados pelo uso da água ou dos custos de tratamento adicionais capazes de devolver o recurso à sua condição inicial, desde que esta informação esteja disponível. O Custo Total do Consumo de Água deve ser igual ao Valor de Uso, para que haja um equilíbrio econômico

A figura 1 apresenta os princípios gerais para estimar o custo da água.

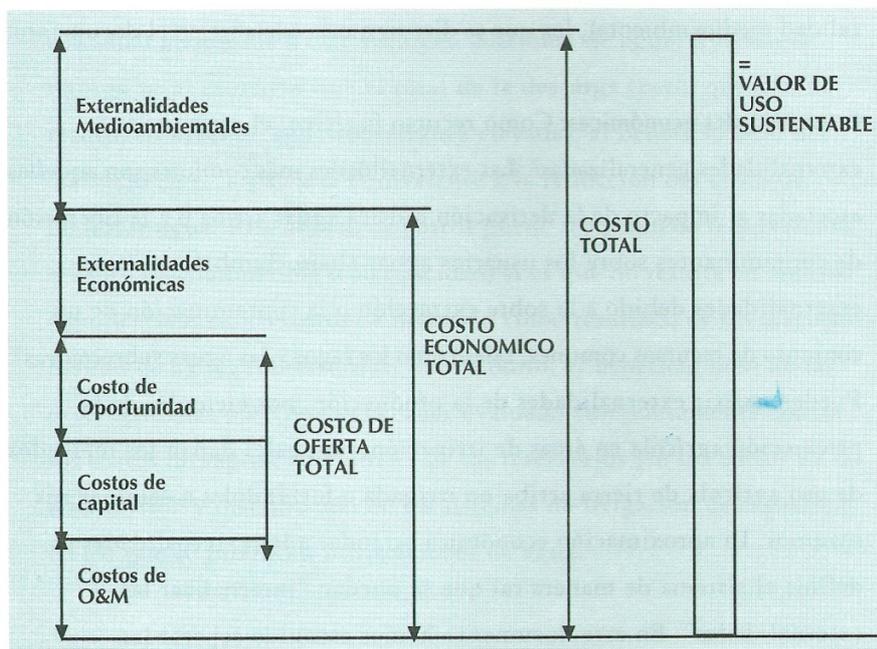


Figura 1 – Componentes do custo total da água (Fonte: Rogers et alli, 2001)

Quanto ao valor de uso da água, Rogers et alli (2001) apresentam a seguinte composição, ilustrada na figura 2.

- Valor para os usuários da água – refere-se ao valor obtido por análises, por exemplo, do valor marginal da água de uso agrícola ou da disposição a pagar.
- Benefícios dos fluxos de retorno – avalia o efeito dos volumes “perdidos” por infiltração, por exemplo, sobre a recarga dos aquíferos ou para os ambientes a jusante de áreas agrícolas irrigadas

- Benefícios do uso indireto – usos complementares da água armazenada e distribuída para um determinado uso para outras finalidades, como o abastecimento humano e a dessedentação animal com o uso da água transportada em sistemas de canais para irrigação
- Ajustes por objetivos sociais – avalia o resultado do uso da água para objetivos sociais, como redução da pobreza, o emprego e a segurança alimentar
- Valor intrínseco – variável de difícil mensuração, visa identificar o valor referente à existência da água. Pode ser associado ao valor dado à *visão hídrica* associada a obras de irrigação, por exemplo.

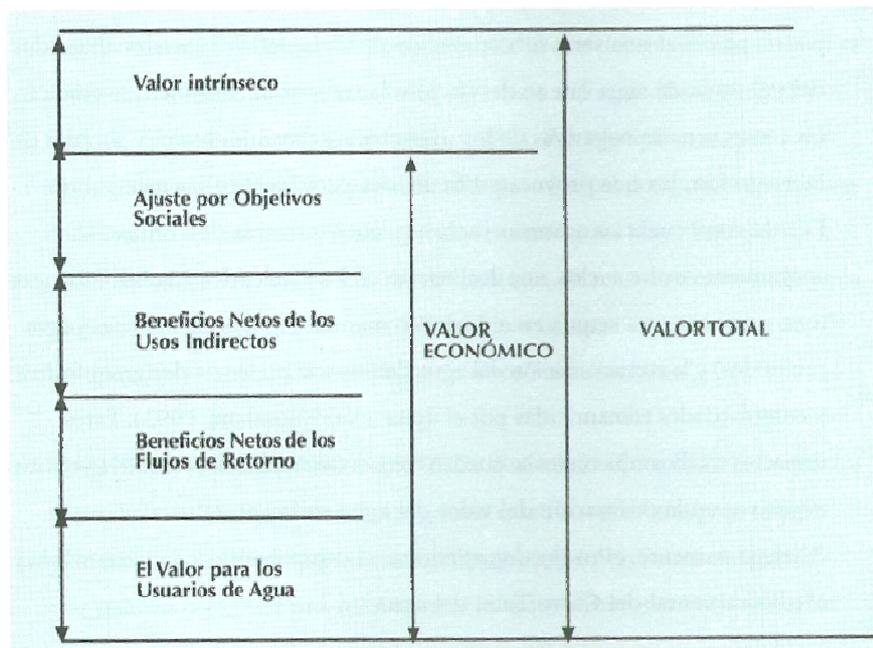


Figura 2 – Componentes do valor de uso da água (Fonte: Rogers et alli, 2001)

A aplicação destes princípios em uma área irrigada na região árida da Índia (Rogers et alli (2001)) possibilitou a definição do custo e do valor da água para a agricultura irrigada. O valor da água foi determinado pela diferença entre as margens brutas da produção com e sem irrigação, dividida pelo volume de água desviado para a irrigação, isto é, incluindo as perdas por transporte, condução e distribuição. O valor do produto agrícola obtido foi de US\$ 0,019/m<sup>3</sup> de água. O ajuste por objetivos sociais considerou a geração de

empregos por conta da produção agrícola, elevando-se o valor inicial em 50%, obtendo-se US\$ 0,028/m<sup>3</sup>. Os benefícios do uso da água sem ser para a irrigação foram estimados em US\$ 0,01/m<sup>3</sup>, considerando-se as facilidades obtidas para o abastecimento doméstico e o gado. Por fim, os benefícios do fluxo de retorno foram estimados em US\$ 0,005/m<sup>3</sup>, a partir do efeito positivo sobre a disponibilidade das águas subterrâneas na região da irrigação. O valor final resultou em US\$ 0,062/m<sup>3</sup>.

Quanto aos custos, foram considerados US\$ 0,002/m<sup>3</sup> para a operação e manutenção dos sistemas; US\$ 0,038/m<sup>3</sup> para os custos de capital; US\$ 0,015/m<sup>3</sup> para as despesas com o bombeamento da água; e US\$ 0,03/m<sup>3</sup> como o custo de oportunidade para as famílias urbanas. Estes valores, mais o custo do bombeamento (US\$ 0,037/m<sup>3</sup>) somam US\$ 0,087/m<sup>3</sup>, o que representa o Custo Econômico Total do abastecimento hídrico para a irrigação. Como os dois valores diferem entre si (US\$ 0,062/m<sup>3</sup> e US\$ 0,087/m<sup>3</sup>), os autores concluem que este uso não é sustentável.

Rogers et alli (2001) colocam que quando os usuários enfrentam uma composição de custos econômicos totais, que incluem os custos de oferta, de capital e os custos de oportunidade, o valor da água será o do seu melhor uso alternativo possível. No caso da irrigação, o custo de oportunidade dependerá da existência destas outras oportunidades de uso e dos custos de transferir a água entre estes possíveis usuários, o que inclui outros agricultores, cidades e indústrias. O custo de oportunidade para a irrigação tende a diminuir rapidamente, logo que todas as possibilidades de transferências custo-eficientes tenham se esgotado. O valor deste custo tende a zero ou próximo de zero, depois de atendidas as necessidades dos outros setores usuários.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos está vinculada, filosoficamente e legalmente, a execução de planos de bacia, nos quais estão previstas intervenções estruturais e não-estruturais, que são financiadas pelos recursos arrecadados pelos instrumentos econômicos. Estes podem incorporar os princípios destacados por Rogers (2001), de forma total ou parcial, de acordo com a decisão dos Comitês de Gerenciamento.

Pela legislação brasileira, cabe ao Comitê de Gerenciamento definir tanto os critérios de outorga como o enquadramento da água em classes de qualidade e o valor da

água para os diferentes usos. Nesta situação teórica, a irrigação poderia ser preterida em relação aos demais usos na bacia, desde que a sociedade aceitasse arcar com os custos referentes à transferência da água entre os setores.

Arrojo (2000) considera que uma nova política de preços para a água de irrigação na Espanha não deveria contemplar apenas os aspectos quantitativos, mas também os qualitativos, sendo esta também a posição estabelecida na Diretiva Quadro da Água. Barth, citado por Silva e Pruski (2000), coloca que irrigação tem alto uso consuntivo, de 90%, e altera a qualidade da água com carreamento de agrotóxicos e fertilizantes.

Santos (2002) relata que a estimativa de receita do Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado de São Paulo para o período 2000-2003 *difícilmente será atingida. Isto porque cerca de 30% deveria vir do setor agrícola, que tende a ser isento ou pagar valores muito reduzidos, diante do forte lobby do setor contra a aprovação da cobrança na Assembléia Legislativa.* BRASIL (2001) cita a exclusão do setor agrícola da cobrança no estado de São Paulo, e de um projeto de lei estadual isentando esta cobrança até 2004. Neste plano, o setor agrícola não pagaria a taxa referente à captação, apenas a referente ao consumo, mesmo com uma expectativa de captação do setor agrícola de 180 m<sup>3</sup>/s, ou 45% de um total de 400 m<sup>3</sup>/s utilizados.

No caso do Ceará, Santos (2002) apresenta valores a serem cobrados ao setor agrícola que variam de um mínimo de R\$ 0,0011/m<sup>3</sup>, passando por valores intermediários de R\$ 0,02/m<sup>3</sup> e R\$ 0,028/m<sup>3</sup> e até R\$ 0,30/m<sup>3</sup>, que é o caso da Adutora de Quixadá. No entanto, a autora relata que os irrigantes são muito resistentes a pagar pela água, seja pela baixa capacidade de pagamento, seja por uma cultura arraigada, onde o agricultor acostumou a “ter” ou “não ter” água, como uma benesse ou uma incompetência. Por fim, coloca que apenas os irrigantes localizados no Vale do Acaraú (R\$ 0,004/m<sup>3</sup>) e do Jaguaribe (R\$ 0,01/m<sup>3</sup>) estariam pagando pela água utilizada.

Na bacia do rio Paraíba do Sul, a cobrança pela água foi definida em 06 de dezembro de 2001, sendo o valor calculado pela expressão:

$$Cobrança = Q_{cap} [K_0 + K_1 + (1 - K_1) \cdot (1 - K_2 \cdot K_3) \cdot PPU] \quad 4.1$$

sendo:

$Q_{cap}$ : corresponde ao volume captado durante um mês ( $m^3/mês$ )

$K_0$ : multiplicador do preço unitário para a captação, definido pelo Comitê de Bacia (CEIVAP)

$K_1$ : coeficiente de consumo de água para atividade, que relaciona a quantidade retirada do manancial e a que retorna a ele;

$K_2$ : percentual do volume de efluentes tratados em relação ao volume total de efluentes

$K_3$ : eficiência de redução de DBO

PPU: preço público unitário correspondente à cobrança pela captação, consumo e diluição de efluentes, definido pelo CEIVAP em 2001 como R\$ 0,02/ $m^3$ .

Segundo SANTOS (2002), a cobrança pela captação das indústrias e do saneamento, com a aplicação do sistema de descontos vigente à época, seria de R\$ 0,008/ $m^3$ , enquanto que a cobrança pelo consumo seria de R\$ 0,02/ $m^3$ . A soma dos dois valores, portanto, significaria um valor total de R\$ 0,028/ $m^3$  captado e consumido, e um valor médio entre R\$ 0,02 e R\$ 0,028/ $m^3$ , dependendo do grau de consumo. Serrichio et alli (2005) confirmam os valores apresentados acima e apresentam uma variação entre R\$ 0,00 a R\$ 0,02/ $m^3$  para uma redução entre 100% e 0% da DBO do efluente lançado, respectivamente. Para a agricultura, o valor do PPU é reduzido para R\$ 0,0005/ $m^3$ , com um fator de consumo  $K_0=0,4$ , mas o valor final deve ser limitado a 0,5% do custo de produção.

A Tabela 3 a seguir apresenta os valores arrecadados na bacia pela Agência Nacional de Águas (ANA), entre os anos de 2003 e 2005. A ANA realizou um estudo sobre aplicação do princípio usuário pagador na região do Guaíba, no Rio Grande do Sul, adotando os valores atualizados (2007) do CEIVAP e outras propostas de taxa, num total de quatro cenários. Também definiu o tempo necessário para arrecadar os recursos necessários para custear a implantação do Plano de Bacia. Estes valores são apresentados na Tabela 4 a seguir. O estudo demonstra a dificuldade de realizar o balanço hídrico das lavouras irrigadas, pela inexistência de lançamentos pontuais da drenagem. O retorno da água ao sistema hídrico ocorre também por infiltração e de forma difusa, sendo de difícil

mensuração. Foram estabelecidos coeficientes de consumo para as lavouras, sendo que para a lavoura de arroz considerou-se um consumo médio de 40% da água bruta captada.

Tabela 3 – Arrecadação por setor usuário de água entre os anos de 2003 e 2005 na bacia do rio Paraíba do Sul, em Reais (R\$)

Setor	2003	2004	2005
Indústria	2.767.648,70	2.182.688,19	1.472.521,12
Irrigação	3.842,55	2.098,23	3.673,43
Dessedentação animal	-	243,94	133,06
Mineração	-	368,21	976,96
Outros usos	2.758,02	17.139,83	21.016,01
Saneamento	3.129.788,88	4.113.782,99	4.432.118,70
Total	5.904.038,15	6.316.321,39	5.930.439,28

Fonte: Serrichio (2005)

Tabela 4 – Aplicação do PUP sobre a Região Hidrográfica do Guaíba, RS, e seu efeito na arrecadação dos recursos necessários à execução do Plano de Bacia

Tipo de uso	PPU	Unidade	Valor (R\$/unidade)			
			Cenário			
			1	2	3	4
Captação de água bruta	PPU <sub>cap</sub>	m <sup>3</sup>	0,01	0,02	0,03	0,10
Consumo de água bruta	PPU <sub>cons</sub>	m <sup>3</sup>	0,02	0,04	0,06	0,20
Lançamento de carga orgânica (DBO <sub>5,20</sub> )	PPU <sub>DBO</sub>	Kg	0,07	0,14	0,21	0,70
Tempo de arrecadação (anos)			51	25	17	5

Obs.: o Cenário 1 corresponde aos valores propostos pelo CEIVAP, Deliberação 65 (28/09/2006). Fonte: ANA, 2007.

O valor do consumo de água na lavoura de arroz tem recebido críticas por parte de técnicos que atuam no setor orizícola. Pugatch (2007) coloca que

*Quem utiliza a água a toma emprestado da natureza, a utiliza por um determinado período, e a devolve com um volume idêntico ao que retirou. A população em geral tem a idéia, incorreta, de que a água que chega, por exemplo, em uma lavoura de arroz, ali acaba sumindo! Ou acaba se transformando em arroz, através de um processo químico! Não, isso não acontece, absolutamente! O ciclo hidrológico vigente no planeta é fechado, e a substância água é imutável em volume e quantidade no decorrer do tempo.(...) Na lavoura de arroz a água que chega através da irrigação toma os seguintes destinos: infiltra-se no solo, retornando ao meio ambiente, ou escorre para o curso d'água mais próximo, ou evapora-se para a atmosfera. Uma pequena parte encerra-se na biomassa verde das plantas, incorporando-se, portanto de novo à natureza. Apenas uma pequena parcela, aquela que acompanha o produto nas prateleiras do supermercado e que se constitui de aproximadamente doze por cento do peso, é que sai das fronteiras do processo produtivo do arroz. Porém, esta água, ao ser consumido o produto, em qualquer parte do globo, voltará ao ciclo hidrológico através do metabolismo dos seres humanos que a utilizaram.*

Tal afirmativa está completamente desvinculada de dimensões espaço-temporais aplicáveis para o gerenciamento de uma bacia hidrográfica, no qual os tempos necessários para a infiltração e fluxo da água pelo solo, decomposição da massa verde, precipitação pluviométrica da água evaporada e metabolização do arroz consumido pelos seres humanos, são incompatíveis com as necessidades imediatas e concomitantes de captação de água para o abastecimento humano, manutenção de ecossistemas e outros usos da água. Porém, a sua simples colocação como uma possibilidade válida para discutir o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica na qual a agricultura irrigada esteja presente, leva a uma contestação do setor da irrigação da real necessidade de pagar por um volume de água que, pelo raciocínio apresentado, não foi consumido.

Villasante (2005) realiza uma análise hidrológica sobre este tema. Coloca que o conceito de eficiência pelo uso da água na irrigação leva às pessoas a terem uma idéia de que toda a água não consumida é perdida, utilizando o mesmo raciocínio válido para a

engenharia ou para a indústria, por exemplo. No caso da agricultura irrigada, a fração de água que se infiltra na rede de distribuição ou na lavoura pode retornar ao fluxo superficial diretamente pelo sistema de drenagem e, se tiverem qualidade suficiente, podem ser reutilizadas, o mesmo acontecendo com o excesso de água superficial ou com a drenagem dos quadros. Portanto, sua condição de ser *perdida* depende do (i) *âmbito espacial*, considerando a área da bacia hidrográfica e as estruturas disponíveis para captar e reutilizar essa água; e (ii) do *âmbito temporal*, já que os fluxos que se incorporam aos rios ou aos aquíferos geram uma disponibilidade com defasagens de tempo variadas.

Se uma quantidade de água pode ser recuperada dentro do próprio sistema de irrigação, faz-se uma economia interna de água. Se a água recuperada pode ser utilizada em outro sistema externo ao projeto de irrigação, mas dentro da mesma bacia hidrográfica, verifica-se que o volume *perdido* passa a ter outra avaliação.

O autor defende o uso de expressões como *fração consumida* e *fração reutilizável* para avaliar com maior propriedade as possíveis economias de água em processos de modernização de sistemas irrigados. Definidas as frações, é necessário definir-se também o âmbito geográfico de análise, que pode ser o canteiro irrigado, a quadra de irrigação, a zona irrigável ou a bacia hidrográfica. Considerando que os retornos de água nos níveis mais simples são potencialmente mais fáceis de serem recuperados nos níveis mais complexos analisados, a utilidade da água pode ser maior na bacia do que a soma das utilidades da água nas zonas irrigáveis ou a soma da utilidade da água nos canteiros pode ser menor do que a utilidade da água na quadra que os contém. Assim, o valor aceitável para a fração consumida em um canteiro pode ser menor do que o valor aceitável para a quadra, que pode ser menor do que a zona irrigável, que por sua vez pode ser menor do que a da bacia.

Mesmo assim, os fluxos retornados à rede de drenagem a partir de uma zona irrigável são perdidos para esta zona, já que não beneficiam a produção irrigada. Os irrigantes que investiram recursos para armazenamento, transporte e distribuição desta água terão que também pagar pelo volume utilizado, porém não consumido.

Voltando à proposta da ANA, especificamente para o caso da irrigação, o valor a ser arrecadado foi definido pela seguinte expressão:

$$Valor_{cons} = Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons} \quad 4.2$$

sendo  $K_{cons}$  igual a 0,4.

Neste estudo destaca-se a tendência de minorar as taxas para a irrigação, pois, embora este setor consuma 72,7% do total da região hidrográfica, a sua arrecadação atinge apenas 9% do montante projetado. Por não terem sido considerados os efeitos da cobrança sobre as atividades econômicas, estas participações são constantes para todos os cenários, já que as taxas propostas são elevadas na mesma proporção.

O trabalho de Forgiarini et alli (2007) analisa a situação da bacia do rio Santa Maria, no Rio Grande do Sul, que apresenta uma economia predominantemente agrícola, basicamente orizicultura. Em pesquisa junto aos membros do Comitê de Gerenciamento da bacia, a totalidade dos entrevistados apontou que o setor agrícola é o responsável pelos problemas de ordem quantitativa na bacia.

Os autores, citando Pearce e Turner, colocam que a aplicação de instrumentos econômicos na política de gerenciamento dos recursos hídricos tem por princípio o incentivo à mudança dos padrões de consumo dos usuários. Os mesmos autores, citando pesquisas de opinião pública do WWF, realizadas no Brasil em 2005 e 2007 pelo IBOPE, apontam que 63% e 60% da população acreditam que a cobrança pelo uso da água mudará os hábitos dos usuários. Também concluem que a maior parte dos representantes do Comitê entende que a cobrança deve arrecadar os recursos necessários para a implantação do plano de bacia; no entanto, os autores apontam que estes são superiores aos que se pode arrecadar com a cobrança pelo uso da água, dado o perfil das atividades econômicas da bacia. Neste trabalho, cerca de 30% dos usuários *rurais* apontam que o valor a ser cobrado deve ser de 0,5% do custo de produção, sendo este o valor modal das respostas. O mesmo valor referencial aparece no caso da bacia do rio Paraíba do Sul (Serrichio et alli, 2005).

De acordo com IRGA, o custo de produção do arroz irrigado apresenta um valor médio referencial de US\$ 1.952,15/hectare para as últimas safras ( INSTITUTO, 2008). Assim, o valor a ser cobrado por esta proposição seria igual a US\$ 9,76/hectare ou 0,65 sacos/hectare. Silva et alli (2007) colocam que para definição da taxa podem ser utilizados os conceitos econômicos de elasticidade-renda e elasticidade-preço. Ribeiro et

alli (1999), citando Andrade (1995) colocam que os objetivos de se conhecer uma curva de demanda por água são:

- a) conhecer as variáveis que determinam a quantidade demandada;
- b) estimar as elasticidades-preço e renda da demanda;
- c) estudar o efeito que diferentes estruturas de taxa possam ter sobre a receita e sobre a quantidade consumida de água;
- d) fazer a projeção da quantidade demandada de água a fim de dimensionar as necessidades

Os autores seguem classificando a água como um bem normal, ou seja, aquele cujo consumo aumenta se a renda do consumidor aumenta.

O valor da elasticidade-renda é determinado pela expressão:

$$E_R = [\Delta Q / Q] / [\Delta R / R] \quad 4.3$$

onde  $E_R$  é a elasticidade-renda da demanda;  $Q$  é a quantidade demandada e  $R$  é a renda do usuário.

Por sua vez, a elasticidade-preço é dada pela expressão:

$$E_P = -[\Delta Q / Q] / [\Delta P / P] \quad 4.4$$

onde  $E_P$  é a elasticidade-preço da demanda;  $Q$  é a quantidade demandada e  $P$  é o preço do bem.

A Tabela 5 a seguir apresenta a classificação dos bens de acordo com a elasticidade-renda.

A Tabela 6 a seguir apresenta a classificação da demanda por bens de acordo com a elasticidade-preço.

Sobre a elasticidade-preço para os consumidores agrícolas, os autores colocam que existem poucos estudos sobre o assunto. Estudo realizado na Califórnia na década de 70, encontrou valores de elasticidade de 1,5, para culturas com preço de mercado mais baixo, e de 0,46, para culturas de maior valor. Para este último grupo, a demanda é portanto

*praticamente inelástica*, ou seja, o consumo de água diminuirá menos que proporcionalmente à elevação do preço cobrado.

Tabela 5 – Classificação de bens quanto à elasticidade-renda ( $E_R$ )

Se	O bem é	Se	A quantidade demandada
$0 < E_R < 1$	Normal	$R \uparrow$	$Q \uparrow$
		$R \downarrow$	$Q \downarrow$
$E_R < 0$	Inferior	$R \uparrow$	$Q \downarrow$
		$R \downarrow$	$Q \uparrow$

Fonte: Ribeiro et alli, 1999.

Tabela 6 – Classificação da demanda (Q) quanto à elasticidade-preço ( $E_P$ )

Se	A demanda é	Se	A quantidade demandada	Receitas totais (P,Q)
$E_P < 1$	Preço-inelástica	$P \uparrow$	$Q \downarrow$ menos que proporcionalmente	Aumentam
		$P \downarrow$	$Q \uparrow$ menos que proporcionalmente	Diminuem
$E_P = 1$	Elástica-unitária	$P \uparrow$	$Q \downarrow$ proporcionalmente	Constantes
		$P \downarrow$	$Q \uparrow$ proporcionalmente	Constantes
$E_P > 1$	Preço-elástica	$P \uparrow$	$Q \downarrow$ mais que proporcionalmente	Diminuem
		$P \downarrow$	$Q \uparrow$ mais que proporcionalmente	Aumentam

Fonte: Ribeiro et alli, 1999.

Kunimitsu (s.d. ), em estudo realizado no Japão, concluiu que:

- no caso do arroz, a demanda é inelástica em relação ao preço da água;
- o preço sugerido pela aplicação do Método de Valoração Contingente não é suficiente para cobrir os reais custos da água de irrigação;
- o valor sugerido para o preço da água é afetado pelo preço do arroz e pela produtividade da lavoura.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) apresentam valores de elasticidade-preço para a irrigação em diferentes bacias da Bahia, conforme Tabela a seguir. A Tabela também apresenta os preços de reserva (ou custo de oportunidade) e os preços ótimos a serem cobrados dos irrigantes. O preço ótimo é definido de forma a garantir sustentabilidade ao sistema de gestão de recursos hídricos na respectiva bacia hidrográfica, sendo obtido pelo seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} p_j^* = (CMg^* |\varepsilon_j|) / (|\varepsilon_j| - \alpha), \forall j \\ \sum_j p_j^* x_j - C = 0 \end{cases} \quad 4.5 \text{ e } 4.6$$

onde  $p_j^*$  é o preço ótimo da água no uso  $j$ ;  $x_j$  é a respectiva quantidade de água demandada após terem sido realizados os investimentos programados (no plano de investimentos da bacia),  $CMg^*$  é o custo marginal de gerenciamento da água,  $\varepsilon$  é a elasticidade-preço do uso  $j$ , em valor absoluto;  $C$  é o custo total do sistema de gestão da bacia e  $\alpha$  é uma constante de proporcionalidade que reflete a diferença entre benefícios e custos marginais, a ser determinado.

A primeira equação pode ser facilmente rearranjada, de forma a demonstrar que o diferencial no preço da água em cada um dos usos  $j$  previstos em relação ao custo marginal, em termos percentuais, é inversamente proporcional a sua elasticidade-preço da demanda:

$$(p_j^* - CMg) / p_j^* = \alpha / |\varepsilon_j|, \forall j \quad 4.7$$

Na decisão pelo valor a ser adotado no pagamento pela água, os autores colocam que se os preços ótimos forem maiores do que o preço de reserva, este deve ser o valor adotado, pois representa a capacidade de pagamento dos irrigantes. No caso oposto, com

preço ótimo inferior ao preço de reserva, o primeiro valor é que deve ser adotado e não é esperada resistência na sua implantação, uma vez que está dentro da capacidade de pagamento.

Por outro lado, assumindo-se que o custo de gerenciamento da bacia deve ser plenamente coberto pela arrecadação dos diferentes setores, é necessário que o déficit originado no setor de irrigação seja coberto por uma elevação do preço ótimo de outros setores, sendo que, nas bacias apresentadas, a situação mais evidente deste desvio é a bacia do Verde-Jacaré, no qual a irrigação deve alocar cerca de 840 avos do valor ótimo definido.

Os valores de elasticidade-preço mostram um comportamento essencialmente inelástico, mas com variações entre si. Há bacias em que o comportamento dos irrigantes é próximo da elasticidade-unitária, ao lado de outras, onde a demanda apresenta-se como totalmente inelástica, com valores próximos a zero. Esta variação trará efeitos diversos para a implantação da cobrança pelo uso da água, sendo que este comportamento deve estar vinculado ao padrão de uso da água na agricultura irrigada.

Tabela 7 – Valores propostos para a cobrança da água de irrigação e a elasticidade-preço para as bacias hidrográficas do estado da Bahia

Bacia	Preço de reserva (US\$.m <sup>-3</sup> )	Preço ótimo Sem restrição (US\$.m <sup>-3</sup> )	Elasticidade- preço
Verde – Jacaré	1,64x10 <sup>-3</sup>	1,38	0,17
Alto Grande	2,60 x10 <sup>-3</sup>	7,42x10 <sup>-4</sup>	0,02
Corrente	2,63 x10 <sup>-3</sup>	1,32x10 <sup>-3</sup>	0,19
Contas	2,40 x10 <sup>-3</sup>	5,69x10 <sup>-2</sup>	0,14
Salitre	2,21 x10 <sup>-3</sup>	7,16x10 <sup>-2</sup>	0,74
Médio e Baixo Grande e margem esquerda do Lago	2,11 x10 <sup>-3</sup>	6,78x10 <sup>-4</sup>	0,88
Margem direita do Sub-Médio São Francisco	3,35 x10 <sup>-3</sup>	6,73x10 <sup>-4</sup>	0,93
Paramirim	2,46 x10 <sup>-2</sup>	6,61x10 <sup>-2</sup>	0,02
Médio e Baixo Paraguaçu	1,71 x10 <sup>-3</sup>	9,04x10 <sup>-4</sup>	0,57
Recôncavo Norte e Inhambupe	7,08 x10 <sup>-3</sup>	7,32x10 <sup>-4</sup>	0,77
Recôncavo Sul	2,15 x10 <sup>-3</sup>	1,13x10 <sup>-3</sup>	0,43
Alto Paraguaçu	9,89 x10 <sup>-3</sup>	8,00x10 <sup>-4</sup>	0,39
Itapicuru	2,17 x10 <sup>-3</sup>	9,91x10 <sup>-3</sup>	0,58

Fonte: Carrera-Fernandez e Garrido (2002)

Sousa Júnior (2004) coloca que a maior parte dos estudos de situações de demanda no Brasil caracteriza a água como um bem de demanda inelástica. Como na modelagem econômica das propostas de cobrança pela água usualmente se assume um comportamento uniforme para a elasticidade-preço, para facilitar a análise, a água tende a sempre ser tratada como de demanda inelástica. Citando Serôa da Mota, o autor conclui que *a determinação clássica de preços públicos privilegia usuários com maior elasticidade-preço de demanda em detrimento daqueles que possuem perfis inelásticos.*

A Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da Comunidade Econômica Européia, de 23 de Outubro de 2000, define o quadro de ação comunitária no domínio da política da água. Por este instrumento, os países-membro têm até 2010 (art. 9º) para que *as políticas de estabelecimento de preços da água dêem incentivos adequados para que os consumidores utilizem eficazmente a água, e assim contribuam para os objetivos ambientais propostos pela Diretiva. Além disso, deve ser estabelecida uma contribuição adequada dos diversos setores econômicos, separados pelo menos em setor industrial, setor doméstico e setor agrícola, para a recuperação dos custos dos serviços de abastecimento de água, baseado em uma análise econômica e que tenha em conta o princípio do poluidor-pagador.*

*Neste contexto, os Estados-Membros podem atender às consequências sociais, ambientais e econômicas da amortização, bem como às condições geográficas e climáticas da região ou regiões afetadas.* (Directiva, 2000)

A atual orientação sobre a avaliação do valor da água da Comunidade Européia, expressa na Diretiva Quadro da Água, estabelece a necessidade de uma análise econômica, que deve conter informações pormenorizadas suficientes (tendo em conta os custos associados à obtenção dos dados pertinentes) para:

- realização dos cálculos pertinentes necessários para ter em conta, nos termos do artigo 9º da Diretiva, o princípio da amortização dos custos dos serviços hídricos, tomando em consideração as previsões de longo prazo relativas à oferta e à procura de água na região hidrográfica e, quando necessário:
  - estimativas dos volumes, preços e custos associados à prestação dos serviços hídricos, e

○ estimativas dos investimentos pertinentes, incluindo previsões desses investimentos;

- determinação, com base em estimativas dos seus custos potenciais, da combinação de medidas com melhor relação custo/eficácia no que se refere às utilizações da água que serão incluídas no programa de medidas das bacias hidrográficas.

Ribeiro et alli (1999) seguem sua análise em estudos realizados sobre a demanda e a aplicação da Diretiva Quadro da Água da União Européia, mostrando que as curvas de demanda são mais elásticas onde é possível uma ampla variação de cultivos.

Nas situações de monocultivo, a curva de demanda é *totalmente inelástica*. Ainda segundo Ribeiro et alli (1999), culturas tradicionais, com baixo valor agregado, irrigados com técnicas pouco eficientes quanto ao consumo de água, têm comportamento inelástico. Colocam, textualmente, que *o arroz irrigado no Rio Grande do Sul pode entrar nesta classe em face do grande consumo de água. Isto significa que mesmo baixos valores de cobrança pelo uso da água poderão significar a inviabilização da atividade*.

Comparando-se duas situações de monocultivo, observa-se que as regiões com menor dotação de água e sistema de irrigação mais moderno têm curvas de demanda **mais** inelásticas (maior resistência a reduzir o consumo frente ao aumento de preço) do que regiões com sistemas mais antigos, com maior dotação de água e sistemas de distribuição menos eficientes.

Em situações de uso industrial e uso agrícola **menos** inelásticos, com a demanda mais afetada pelo aumento de preço, o aumento de preço faria com que diminuíssem as quantidades demandadas mais do que proporcionalmente, reduzindo o montante arrecadado pela cobrança.

O nível de elasticidade é influenciado pela existência de bens que possam substituir o bem considerado. No caso da água de irrigação para o arroz, as possibilidades teóricas são escassas (como a exploração de água subterrânea ou reuso de águas servidas). Especificamente no caso do arroz irrigado em várzeas com drenagem deficiente, a opção de troca de cultivos por um conjunto que seja menos exigente em água é limitada por fatores edafoclimáticos, tecnológicos, culturais e de mercado, entre outros.

A outra possibilidade está na utilização de tecnologias que permitam utilizar menos água, aumentando a eficiência do seu uso. A adoção de novas tecnologias, no entanto, exigirá novos investimentos, cuja viabilidade financeira para o irrigante deve ser avaliada.

Segundo López (2000) experiências de encarecer a água para irrigação ou para abastecimento urbano não apresentaram uma resposta adequada no consumo, existindo práticas mais eficazes, como tarifas diferenciadas que bonifiquem ou penalizem os usuários de acordo com seu nível de utilização. Unicamente com elevações significativas do custo da água é que se poderia alterar a expansão da irrigação.

Ribeiro et alli (1999), buscando maximizar a arrecadação pela cobrança, sugerem que usuários com demandas mais elásticas pagariam mais do que usuários com demandas menos elásticas; ou seja, para situações onde a agricultura é de monocultura e menos eficiente, o valor da água seria menor do que para regiões com maior opção de cultivos.

Albuquerque (2001) apresenta uma análise sobre a irrigação e economia no Arizona, no qual é proposta de alteração da estrutura econômica no estado a partir da inviabilização de projetos vinculados à expansão da irrigação com base na gestão da oferta. A proposta, desenvolvida pela Universidade do Arizona, mostra a vantagem de substituição de produtos agrícolas por outros, em relação ao consumo da água e ao custo de produção desta água. Por esta lógica, a agricultura irrigada não seria excluída da matriz produtiva, mas deveriam ser priorizados os produtos de maior valor de mercado, como frutas, verduras e grãos.

Gómez-Limón e Berbel (2000) analisam a formação do preço público da água, de acordo com a Teoria Econômica, como instrumento de melhorar a sua gestão e promover a sua distribuição eficiente. Do ponto de vista social, colocam que um maior preço da água, além de um menor consumo e a otimização do uso deste recurso, trará inevitavelmente uma mudança nas culturas e nas técnicas utilizadas, gerando menor renda agrícola e redução de empregos, uma vez que cultivos de sequeiro são mais extensivos e menos rentáveis do que os irrigados.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) dizem que, em um sistema de interação ideal entre os usuários de água, os irrigantes determinam o seu custo ótimo de produção agrícola igualando o preço ao custo marginal social, que, além de custos privados, inclui o custo

social que cada irrigante impõe aos demais usuários do sistema hídrico ao fazer a captação do volume necessário para atender as suas demandas. Os autores também definem que o *preço de reserva ou custo de oportunidade* da água utilizada para a irrigação é o máximo valor que os irrigantes estariam dispostos a pagar por m<sup>3</sup> de água, sendo indiferente irrigar ou não a partir deste valor. Este valor é igual ao ganho adicional que eles teriam se irrigassem as lavouras, utilizando as águas desta bacia. Os valores calculados para as bacias do estado da Bahia foram apresentados na Tabela 7.

Alvim e Carraro (2006), em formulação de proposta de cobrança pela água na bacia dos rios Pardo e Pardinho, no Rio Grande do Sul, colocam a sua expectativa de que a definição de taxas leve a uma redução do consumo de água, que será tanto maior quanto mais inelástica for a demanda, pois haveria o abandono da irrigação de algumas culturas. A água não consumida se tornaria viável para outros usos, como a preservação ambiental.

Observa-se que essas afirmativas somente serão válidas e o instrumento só será eficiente se houver a contabilização correta da quantidade de água utilizada.

É importante aqui ressaltar que a cobrança pela água estabelecida pela legislação e discutida pelo princípio usuário-pagador não pode ser confundida com a taxa de estruturas coletivas de irrigação, conforme destacado por BRASIL (2001), nem com o “mercado de água” formado pelo arrendamento de áreas aptas ao cultivo de arroz ou de fornecimento de água por estruturas de canais e estações de bombeamento. BRASIL (2001), analisando o caso da gestão de recursos hídricos no Ceará, apresenta um quadro referencial de cobrança pelo uso da água bruta, apresentado a seguir.

Pelos valores apresentados para a irrigação, evidencia-se que para a adutora Quixadá foram incluídos, claramente, custos de operação e gestão das estruturas, sendo que o próprio órgão gestor estadual justifica a cobrança *como forma de diminuir o desperdício, aumentar a eficiência no uso da água e como fonte arrecadadora de fundos para cobrir as despesas com a gestão, a operação e a manutenção das obras hídricas.*

Tabela 8 – Valores referenciais para a água bruta no Ceará

<b>Uso de água bruta</b>	<b>Valor (R\$ por 1000 m<sup>3</sup>)</b>
Industrial	670,00
Abastecimento de água – Região Metropolitana de Fortaleza	28,00
Abastecimento de água – interior do Estado	12,10
Irrigação – Canal do Trabalhador	20,00
Irrigação – Vale do Acarape do Meio	4,00
Irrigação – Adutora Quixadá	300,00

Fonte: BRASIL (2001).

No Rio Grande do Sul, a iniciativa mais avançada de implantação da cobrança encontra-se na bacia do rio Santa Maria, que tem uma proposta de cobrança apresentada pelo grupo de pesquisa denominado GerHi – Grupo de Pesquisa de Gestão de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Santa Maria. Este modelo parte de uma das possibilidades de definição do valor da água, que é o princípio de que os valores arrecadados devem ser suficientes para a aplicação do Plano da Bacia Hidrográfica, como preconiza a legislação. Por outro lado, não verifica a possibilidade dos custos serem absorvidos pelos sistemas produtivos locais. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2007)

Outra proposta levou a definição de um modelo de gestão (STÁgua), com o objetivo de modelar a cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas por meio dos princípios “usuário-pagador” e “poluidor-pagador”. Assim, os custos das ações são distribuídos entre os usuários, de forma proporcional aos seus consumos e eventuais efeitos produzidos nas águas da bacia, sob a forma de quotas.

Os usuários são classificados pela definição da distância de sua situação em relação a uma situação ideal (quota zero), por meio das variáveis ponderadas. As quotas têm

correspondência ao desvio de cada usuário da solução ideal. Estes desvios são normalizados entre zero e um, sendo que quanto mais distante da solução ideal, maior será a quota de participação do usuário. Estas quotas são revisadas periodicamente, possibilitando a criação de um ambiente competitivo entre os usuários, que buscarão uma melhor posição na distribuição dos custos referentes ao Plano de Bacia. As variáveis incluídas no modelo *podem* estar representadas pela quantidade de água consumida ou por qualquer outra medida que sirva como referência para o rateio dos custos dos investimentos e de manutenção do sistema de gestão, desde que sejam mensuráveis e aceitas pelo Comitê da Bacia Hidrográfica. Essas variáveis são grandezas quantitativas passíveis de medição e controle, utilizadas para avaliação e classificação dos usuários e estabelecidas e ponderadas pelo Comitê da Bacia e condicionadas às peculiaridades da bacia.

Ao adotar outra medida qualquer em substituição à quantidade de água consumida como referência para as cotas, o modelo busca uma saída para a falta de medição e controle das vazões derivadas, dentro do que se pode considerar *peculiaridades da bacia* – extensas áreas irrigadas com arroz por inundação, alta probabilidade da existência mais de uma captação ou fonte de água por lavoura, estruturas de recalque por vezes rudimentares e sem registros técnicos atualizados, entre outros. A área irrigada, por exemplo, atenderia a esse propósito, pois permite *estimar* a quantidade de água e é passível de uma medição fácil e barata, como a realizada a partir da análise de imagens de satélite.

De acordo com BRASIL (2001), a cobrança de água pela irrigação na França é baseada em um volume de captação, que por sua vez é *geralmente estimado* em função da área irrigada. Os critérios variam de uma agência a outra, ou mesmo dentro de uma mesma agência, quando considerados fatores como métodos distintos de irrigação. A agência Rhin-Meuse, onde a irrigação não é uma atividade importante, considera um coeficiente genérico, de 1.500 m<sup>3</sup> por hectare por ano. O fator de consumo é de 0,6 (40% de retorno de água), o maior aplicado entre os usos indicados, com exceção da água engarrafada e da reversão para fora dos limites da bacia.

A adoção da área irrigada no lugar do volume consumido leva uma situação incoerente da aplicação da elasticidade-preço para a definição de valores econômicos da

água. Substituindo-se a variável *volume consumido* por *área irrigada*, a expressão seria transformada para:

$$E_p = -[\Delta A / A] / [\Delta P / P] \quad 4.8$$

sendo  $E_p$  é a elasticidade-preço pela área irrigada;  $A$  é a área irrigada e  $P$  é o preço do bem e  $\Delta$  a variação.

Mas uma vez que não se conhece especificamente o volume consumido ou a eficiência de cada irrigante, não seria defensável variar o preço da água de acordo com o aumento ou a redução da área irrigada. Não havendo variação de preço, o denominador da expressão da elasticidade-preço com base na área será igual a zero. Assim, uma taxa de água igual por hectare irrigado para as mesmas condições de plantio não estimularia a economia de água. Ou seja, a utilização da área irrigada não tem o mesmo potencial de garantir uma situação *eficiência econômica*, pois, não estando diretamente vinculado ao consumo, fará com que dois usuários que irriguem a mesma área, mas com eficiências distintas, paguem o mesmo valor por volumes diferentes.

Risler e Wery (1916) colocam que nos canais antigos (à época) a venda da água se fazia por área, com um preço médio de 30 francos por hectare irrigado, mas que este procedimento era muito deficiente, encorajando o consumo excessivo da água e as fraudes, pois o volume de água fornecido era muito mal definido. A cobrança por vazão fornecida é a forma incontestavelmente melhor de venda da água, o que estava sendo implantado nos projetos modernos de irrigação (à época).

Arrojo (2000) cita que nos projetos de irrigação com águas superficiais a cobrança tende a ser relacionada com a área irrigada e não com o volume utilizado, sendo esta uma iniciativa que não incentiva qualquer proposta de melhoria da eficiência do uso, em conjunto com os baixos preços cobrados. Na formulação de uma nova política de preços para a água de irrigação, o autor afirma que deveria ser necessário reformular a cobrança por hectare irrigado para  $m^3$  utilizado, bem como aplicar taxas por faixas de consumo com preço crescente ou introduzir a aplicação de bonificação pela economia de água.

Rosa et alli (2000) afirmam que em perímetros irrigados nos quais existe um esquema pré-fixado de distribuição de água na parcela, os irrigantes tendem a utilizar toda a

água distribuída, independente da necessidade de irrigação, uma vez que a cobrança pela água será pela área irrigada e não pelo volume utilizado. A eficiência da irrigação nestes casos situa-se entre 30 e 50%, quando poderia estar em patamares superiores a 85-90%.

Fagundes (1997), ao descrever o Perímetro de Irrigação da Barragem do Capané, afirma textualmente que *em nível de produtor irrigante, não existe nenhuma estrutura de medição de consumo, sendo determinado isto por estimativa, levando-se em conta a dotação preconizada no projeto* (o dado informado anteriormente no texto original era 17.000 m<sup>3</sup>.ha.safra). *Porém no global conhecemos o diagrama volumétrico da bacia de acumulação e a partir deste instalou-se uma régua que permite verificar diariamente a altura d'água acumulada e com isto controlar o consumo diário para todo o sistema.*

O conhecimento do comportamento do irrigante cobrado por hectare já havia sido apresentado por Mayer (1945) que afirma:

*Se a água for paga por um tanto por hectare, independentemente da quantidade utilizada, o regante, sobretudo nos primeiros tempos, é naturalmente levado a empregá-la em excesso. Se o custo for função da quantidade fornecida, o regante terá mais cuidado de a fazer render o máximo possível. Este fato, ligado com o critério e experiência do regante, pode ser de importância primacial, segundo se conclui do que tem sido observado nas regiões de regadio dos Estados Unidos.*

A série de dados da Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia (2008), permite observar o comportamento dos irrigantes de arroz em função do valor da taxa cobrada pelo fornecimento de água às lavouras. Adotando-se o período entre 1996 e 2007, verifica-se, no gráfico a seguir, que o volume consumido tende a diminuir de acordo com a taxa da água, embora a correlação entre o acréscimo da taxa e a redução do volume seja baixa ( $R^2=0,31$ ). Assim, para um mesmo valor de taxa, são verificados diferentes volumes consumidos, bem como são anotados volumes similares para valores distintos da taxa. A declividade da reta estimada, no entanto, é negativa e coerente com a elasticidade-preço.

Para a área irrigada, no entanto, observa-se o oposto, sendo a tendência da área ser aumentada de acordo com o valor da taxa cobrada, contrariando o princípio da elasticidade-preço. Ou seja, verifica-se que não é o valor da taxa cobrada que define a área a ser

cultivada, embora esse mesmo valor apresente uma tendência de influenciar o volume de água consumido. Segundo o relatório da Associação (2008), o *crescimento da área cultivada* (em 2007) *deve-se também à subida no preço base por quilo na ordem de 12%*. Esse comportamento é mostrado na figura 3.

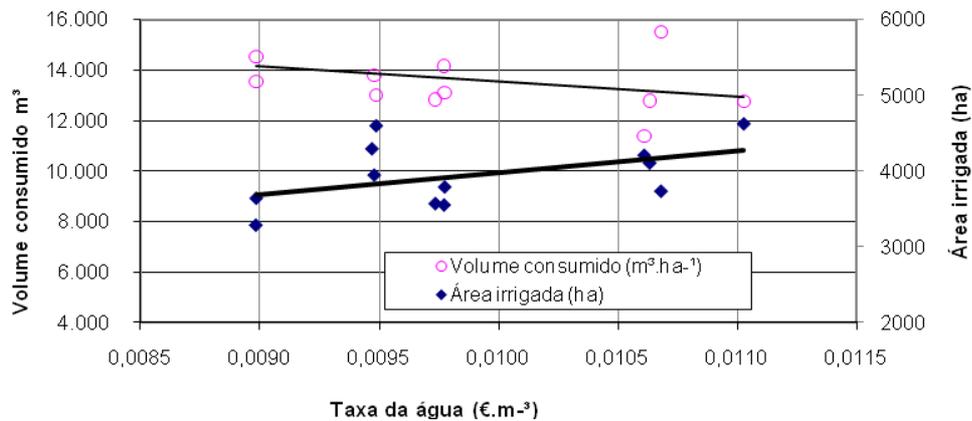


Figura 3 – Evolução da área irrigada e do volume de água consumido em função do valor da taxa de uso da água - Fonte dos dados primários: Associação dos Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia (2008)

Para voltar a utilizar a expressão anterior, a quantidade demandada teria que ser estimada por uma função de consumo de acordo com técnicas de cultivo (pré-germinado, plantio direto ou plantio convencional), tipo de solo, época de plantio ou região de produção, por exemplo.

Especificamente para a irrigação, essa é uma situação problemática. Primeiro, por que a irrigação é o setor que mais consome água em todo o mundo, sendo esta situação levada ao extremo em algumas bacias hidrográficas gaúchas. Segundo, porque a irrigação tende a ser um uso extremamente ineficiente em muitos casos e mesmo em regiões áridas. UNITED (2006) afirma que menos de 50% da água captada é utilizada produtivamente em sistemas irrigados (particularmente com arroz) na bacia do rio Senegal e muitos produtores não reconhecem o custo econômico desta perda de água. O Programa Nacional para o Uso

Eficiente da Água em Portugal (PORTUGAL, 2001), estima que a agricultura irrigada seja responsável por 88% das perdas totais de água no país. Na bacia do rio Amarelo, na China (Xu et alli, 2005), a concorrência da irrigação com outros usos resultou na necessidade urgente de aumento da eficiência de irrigação, com redução das perdas por condução, evaporação e sobre-exploração dos recursos hídricos. A agricultura consome mais de 50% da disponibilidade hídrica da bacia, possuindo um grande potencial de solução dos problemas de escassez. Para 2010, a expectativa é de que a irrigação represente 68,4% do total consumido.

Segundo Lima et alli (1999), mais de 60% das derivações dos cursos d'água brasileiros são para fins de irrigação, sendo o setor o principal concorrente pelo uso da água. Os autores citam dados da CEMIG que demonstram a ocorrência de um desperdício médio de 20% da água desviada de seus cursos normais para a irrigação. Com base nas estimativas apresentadas, concluem que o manejo adequado da irrigação traria um excedente ao país da ordem de 6.755.459.400 m<sup>3</sup>/ano de água e cerca de 2.300 GWh/ano de energia elétrica, o que reduziria substancialmente as tensões sobre esses dois recursos (água e energia elétrica) de fundamental importância para o país.

De acordo com PORTUGAL (2001), a água para a agricultura é relativamente barata, tendo pouco peso na composição final dos custos de produção. Por isso, o agricultor pode ser levado a utilizá-la em excesso. Em alguns perímetros de irrigação, a água é cobrada por área/cultura e não em função do volume efetivamente consumido, *não havendo assim estímulo a utilização correta deste recurso*. No âmbito do Programa para o Uso Eficiente de Água, a taxaço por volume permitirá evitar o desperdício e poderá incentivar a adoção de métodos e procedimentos de irrigação mais eficientes. Outra medida prevista é a taxaço escalonada, tendo por base os volumes considerados adequados para as culturas em função do clima, sendo que consumos excedentes e improdutivos penalizados com taxas mais elevadas. O Programa indica que esta deva ser *o mecanismo mais dissuasor de usos indiscriminados*.

Arranjo (2000) coloca ainda que projetos públicos irrigados na Espanha receberam modernizações por iniciativas dos próprios irrigantes, não pelo aumento do preço da água, mas pela escassez de água na bacia. Estas iniciativas dos irrigantes levaram a consolidação

de uma nova posição, antes meramente reivindicatória, para uma nova posição empreendedora. Com isto, foram implantadas estruturas complementares de reservação ao longo do sistema já existente e, principalmente, a substituição da forma de distribuição de água, que passou a ser realizada por pressão e com faturação por *volume distribuído*, em *substituição da área atendida*.

## 4.2. O valor da água para a irrigação

A definição de um valor para a água a ser pago pelos usuários para a sociedade pode ser realizada de modos distintos. Stampe (2007), na bacia do rio Gravataí/RS, adotou o Método Econométrico Tradicional de estimação da demanda por água, aplicando-se a elasticidade-preço da demanda para chegar ao valor econômico da água para irrigação de arroz, e o Método de Valoração Contingente, que utiliza a Disposição a Pagar (DAP), como alternativa para calcular este mesmo valor. Para a aplicação destes instrumentos, foi utilizado como referencial um consumo de 14.000 m<sup>3</sup> de água por hectare irrigado por ano, sendo este valor definido como a média dos volumes obtidos pela multiplicação da menor vazão específica e do menor período de irrigação e da maior vazão e do maior período, conforme sugerido pela SOSBAI (CONGRESSO, 2005).

Alvim e Carraro (2006) e Carrera-Fernandez e Garrido (2002) criticam a utilização do método de valoração contingente nos estudos do valor da água em bacias hidrográficas, apresentando três grandes desvantagens de sua aplicação:

- há a expectativa de que os usuários não revelem os verdadeiros preços que estão dispostos a pagar pela água, gerando valores subestimados;
- alto custo da pesquisa de campo, o que dificulta a sua aplicação;
- não vinculação do preço ao plano de investimentos na bacia, o que não assegura a arrecadação necessária para a implantação das intervenções definidas pelo Comitê de Gerenciamento.

Stampe (2007) conclui que a aplicação da elasticidade-preço resulta em um valor da água para irrigação no intervalo entre 1,76 a 2,52 sacos/hectare por ano, com uma tendência predominante para o limite superior do intervalo. A unidade sacos/hectare corresponde ao valor de comercialização de 50 kg de arroz tipo 1, seco e limpo, sendo esta a unidade corrente entre os irrigantes para a contratação de serviços vinculados à lavoura orizícola. Pelo Método de Valoração Contingente com Disposição a Pagar (DAP), investigada por três diferentes metodologias, a autora encontrou um valor médio da DAP de 2,56 sacos/hectare, sendo este um valor considerado possível pela maior parte dos irrigantes entrevistados.

Observa-se que o valor é muito superior ao valor limite proposto pelo CEIVAP e pelos entrevistados na bacia do rio Santa Maria (0,65 sacos/hectare), contrariando a primeira das afirmativas de Alvim e Carraro (2006) apresentadas acima.

O trabalho de Nehme (2008), ainda em desenvolvimento na bacia do rio Quarai, apresenta valores semelhantes de DAP. Após a definição de um valor referencial de 2,7 sacos/hectare, o mesmo foi apresentado aos representantes dos irrigantes nos pontos centrais da bacia e aceito como ponto de partida para discussão no recém criado Comitê de Gerenciamento. Esta validação do preço referencial é concordante com o proposto por Alvim e Carraro (2006), que colocam que a aplicação de um sistema de preços deve ser precedida da avaliação do impacto que o mesmo possa ter sobre os usuários.

Nas duas bacias, existem características comuns que podem explicar a similitude dos valores encontrados: irrigação apenas da cultura de arroz; demanda de água muito acima da oferta hídrica natural; aptidão agrícola das terras muito limitada, mas propícia à cultura do arroz; conflito entre a irrigação e os demais usos da água, especialmente abastecimento humano e saneamento.

Também foi observado, nas pesquisas de campo realizadas nas duas bacias, que irrigantes proprietários de estruturas de armazenamento de água oferecem maior resistência a pagar por ela, sendo que alguns entendem que deveriam receber alguma compensação financeira, já que contribuem para o aumento de oferta de água no período da irrigação. Este raciocínio remete ao princípio beneficiário pagador.

Alvim e Carraro (2006) propõem a seguinte estrutura tarifária para a bacia dos rios Pardo e Pardinho:

- abastecimento urbano  $X_{AU} = 0,44 - 0,05P_{AU}$  4.9

- abastecimento industrial  $X_{AI} = 0,09 - 0,01P_{AI}$  4.10

- irrigação  $X_I = 15,49 - 547,95P_I$  4.11

- diluição de efluentes industriais  $X_{EI} = 4284,93 - 3104,26P_{EI}$  4.12

- diluição de esgotamento sanitário  $X_{ES} = 11356,34 - 7541,51P_{ES}$  4.13

A partir da função apresentada para a irrigação foram estimados os valores para consumo, taxa por hectare, elasticidade-preço, área irrigada e variação da área por cenário. O valor do saco de arroz adotado foi o mesmo citado por Stampe (2007), igual a R\$ 20,00. A base de comparação para a variação de área é o cenário 1, que apresenta o menor valor de taxa.

Tabela 9: Simulação da aplicação dos valores propostos para a bacia dos rios Pardo e Pardinho

Cenário	Taxa R\$.m <sup>-3</sup>	Consumo m <sup>-3</sup> .ha	R\$/ha	Sacos/ha	Elasticidade- preço	Área irrigada (ha)	Área irrigada em relação ao cenário 1
1	0,00005	15.464	0,73	0,04		34.190	100%
2	0,00009	15.438	1,46	0,07	0,003	34.134	100%
3	0,00019	15.387	2,90	0,15	0,007	34.756	102%
4	0,00038	15.283	5,77	0,29	0,014	34.522	101%
5	0,00076	15.076	11,38	0,57	0,027	34.053	100%
6	0,00151	14.663	22,14	1,11	0,056	33.033	97%
7	0,00302	13.835	41,78	2,09	0,120	31.169	91%
8	0,00604	12.180	73,57	3,68	0,272	27.440	80%
9	0,01208	8.871	107,16	5,36	0,746	19.982	58%
10	0,02416	2.252	54,40	2,72	5,880	5.067	15%

Fonte: Alvim e Carraro, 2006.

Observa-se a pequena variação da área irrigada entre os cenários de 1 a 6, compatível com o índice de elasticidade-preço, indicando que os irrigantes não tendem a variar o seu consumo para essa faixa de variação da taxa. Por outro lado, a partir do cenário 8, a redução da área irrigada e a redução teórica do consumo são significativas. Os autores concluem que os cenários mais vantajosos para a bacia são os de número 5, 6 e 7. Para o cenário 7, o consumo previsto é similar ao considerado por Stampe (2007), enquanto que a taxa prevista é próxima e inferior à definida para a bacia do Gravataí, onde há uma situação de conflito quantitativo pelo uso da água.

Deve ser considerado ainda que o valor calculado para o consumo de água no cenário 10 é muito inferior ao tecnicamente possível para a irrigação por inundação. O

valor do cenário 9 somente é possível com eficiências elevadas de distribuição e irrigação, o que não é o usual.

Wichelns (2004) ainda apresenta uma situação hipotética mais radical, em que os irrigantes poderiam transacionar a água com os responsáveis pelo abastecimento humano ou com a indústria, movimentando a água entre os setores econômicos de acordo com as diferenças nos valores incrementais. Para isso, seria necessária a utilização de preços econômicos (*shadow prices*) para a definição dos valores da água.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (2008) utilizou o Método dos Efeitos, de acordo com a proposição de Chervell e Le Gall (1989) e de Cabral e Abecassis (2000), demonstrando o efeito multiplicador da atividade agrícola irrigada na bacia do rio Quaraí e o resultado econômico da substituição do uso da água de irrigação para a diluição de esgotos para três classes de qualidade de água junto às cidades de Quaraí e Artigas.

Para uma disposição a pagar de 2,7 sacos de arroz por hectare para a irrigação, o valor a ser arrecadado pela irrigação do arroz seria de R\$ 0,0039/m<sup>3</sup>. No entanto, a solução do problema dos esgotos das cidades de Quaraí e Artigas é uma reivindicação histórica das duas cidades. Para atingir a classe 3 do CONAMA pela simples diluição do esgoto, seria necessário aumentar a vazão mínima em 1.54 m<sup>3</sup>/s, que é igual ao consumo previsto de 1.025 hectares de arroz com irrigação contínua. A supressão desta área para a economia regional significaria a perda de US\$ 4.8 milhões/ano e 112 empregos. O tratamento do efluente do esgoto até a classe 3 teria um custo de US\$ 3.27/m<sup>3</sup>, representando um montante de US\$ 214.000 nos dois meses mais críticos (janeiro e fevereiro), que coincidem com a temporada de irrigação. Com estes valores, a diluição de esgotos poderia assumir um custo pela água de até US\$ 0,027/m<sup>3</sup>, que é o valor do tratamento do efluente, e é cerca de 14 vezes mais do que o valor que os irrigantes estariam dispostos a pagar.

Por este enfoque, verifica-se que apenas a utilização de valores de preço da água para decisão de conflitos pode gerar situações negativas para a economia da bacia.

Arranjo (2000) coloca que, aumentando o preço da água, a primeira reação do agricultor não será a modernização da exploração, mas a troca por culturas menos

demandantes em água, passando para culturas de sequeiro ou até abandonar a atividade agrícola.

O mesmo autor cita que no Vale do Guadalquivir, no sul da Espanha, foram obtidas curvas com uma *notável elasticidade* para tarifas baixas, entre 0 e 10 pesetas/m<sup>3</sup> (0 a 0,00006 €·m<sup>-3</sup>), enquanto que no Guadiana haveria uma baixa elasticidade para estes valores, mas uma elasticidade importante para valores entre 10 e 25 pesetas/m<sup>3</sup> (0,00006 a 0,00015€·m<sup>-3</sup>).

Gómez-Limón e Berbel criticam a utilização do axioma da maximização do benefício do uso da água. Consideram que os empresários levam em conta, na hora de tomar decisões de produção, uma série de fatores relacionados com seu entorno econômico, social, cultural e ambiental, como a aversão ao risco, a minimização do capital circulante na produção, a minimização da complexidade da gestão da produção, a minimização da utilização da mão de obra alheia, entre outros.

Estas questões foram abordadas pelos entrevistados por Stampe (2007), que citaram a *tradição de cultivo e as condições de solo* como os fatores principais que decidem o plantio de arroz, acima do valor do produto no mercado, por exemplo. Da mesma forma, alguns agricultores aceitariam pagar valores elevados pela água e manteriam o cultivo de arroz por não saberem cultivar outro produto, por já possuírem o maquinário necessário ou por não dependerem de mão de obra externa ou assistência técnica para manter esta exploração.

Os dados do INSTITUTO (2007) para a safra 2007/2008 mostram que o item *irrigação* responde por 9,46% do custo de produção médio ponderado (inclui a irrigação “natural” e por recalque, com motores elétricos e a diesel), ou 14,65 sacos/hectare, sendo o segundo custo médio mais importante, atrás apenas do valor de terra para o plantio (16,75 sacos/hectare).

O custo de produção do saco de arroz com base nos dados de novembro de 2007 era de R\$ 26,28/saco contra um valor de venda de R\$ 22,32/saco (INSTITUTO, 2007). Assim, verifica-se que o excedente do produtor é negativo para a situação média, o que inviabilizaria a cobrança pela água ou, de outra forma, a cobrança pela água estimada com

base apenas em um percentual do custo médio de produção levaria a inviabilizar o plantio de arroz de uma parcela de produtores.

Ainda segundo Gómez-Limón e Berbel (2000), a política de tarifação em geral indica uma redução na renda dos agricultores por dois motivos: a despesa com a água e o abandono dos cultivos que geram mais benefícios e são exigentes em água, como o caso espanhol do milho, beterraba e alfafa, gerando uma ineficiência econômica induzida pela tarifação.

O estudo realizado sobre irrigação na Espanha mostra os efeitos de uma elevação do valor da água para irrigação sobre o consumo de água, a renda dos agricultores, a arrecadação estatal, a redução do emprego e a redução do uso de fertilizantes.

Os autores dividem a série de preços em duas partes, sendo a primeira para valores de até 8 pesetas/m<sup>3</sup> (0,000048 €.m<sup>-3</sup>) e a outra acima deste valor. A figura 4 a seguir apresenta a distribuição dos preços e a redução do consumo de água como auxílio à interpretação dos valores.

Os autores observam que até o valor de 8 pesetas/m<sup>3</sup> (0,000048 €.m<sup>-3</sup>) a variação de preço resulta em uma pequena alteração do consumo de água, sendo que nestas circunstâncias esta política de preços não teria muito sentido, se o objetivo principal fosse reduzir o consumo. Nesta faixa de valores, esperavam que os agricultores apenas mudassem os seus planos de cultivo.

A partir do valor de 8 pesetas/m<sup>3</sup> (0,000048 €.m<sup>-3</sup>), há alterações importantes no comportamento do produtor, que passa a buscar alternativas que tenham uma menor necessidade de água. Quanto à arrecadação estatal, esta tem seu valor máximo no preço de 8 pesetas/m<sup>3</sup>, sendo afetada pela decisão de alteração profunda do consumo de água. A partir deste valor, observa-se que a arrecadação tende, em geral, a diminuir. A elevação no preço da água acima de 8 pesetas/m<sup>3</sup>, no entanto, traz uma redução no número de empregos e na utilização de fertilizantes, indicando a opção por cultivos de sequeiro, mais extensivos e de menor demanda de insumos. Esta redução de fertilizantes gera um benefício ambiental indireto por uma menor contaminação do solo e do lençol freático, que poderia ser considerado como um ganho para a sociedade, desde que fosse corretamente mensurado.

Tabela 10– Variação da renda, da arrecadação estatal, da demanda de mão de obra e do uso de fertilizantes em função do preço da água

Preço da água (pesetas/m <sup>3</sup> )	Redução do consumo da água (%)	Redução da margem bruta		Arrecadação estatal (pesetas/ha)	Redução do emprego (%)	Redução da adubação (%)
		Pesetas/ha	% margem bruta inicial			
0	0%	-	0%	-	0%	0%
1	1%	5,227	4%	4,700	0%	1%
2	2%	10,351	7%	9,296	0%	3%
3	3%	15,371	10%	13,789	0%	4%
4	4%	20,289	14%	18,179	1%	5%
5	5%	25,103	17%	22,466	1%	6%
6	7%	29,813	20%	26,650	1%	8%
7	8%	34,421	23%	30,730	1%	9%
8	9%	38,926	26%	34,707	1%	10%
9	34%	43,610	30%	28,385	2%	15%
10	37%	47,062	32%	30,011	3%	16%
12	49%	52,918	36%	28,900	9%	22%
14	57%	57,725	39%	28,465	13%	26%
16	63%	61,510	42%	27,870	14%	32%
18	69%	64,130	43%	26,110	16%	38%
20	76%	65,585	44%	23,186	17%	44%
30	82%	72,714	49%	25,830	18%	50%
40	82%	81,941	55%	33,586	18%	50%
50	89%	93,839	63%	25,766	39%	58%
60	100%	99,546	67%	-	71%	71%

Fonte: Gómez-Limón e Berbel (2000) (1 peseta = 6,01X10<sup>-6</sup> €)

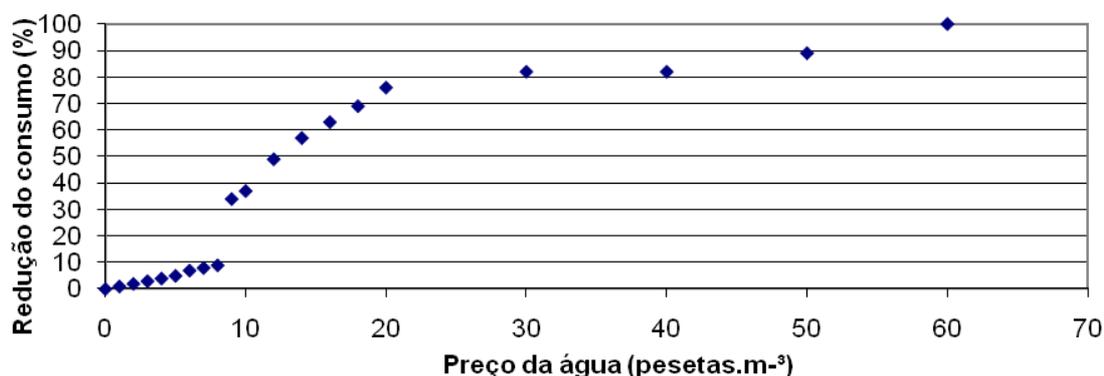


Figura 4 – Redução do consumo de água em função do preço. Fonte dos dados: Gómez-Limón e Berbel (2000)

Os valores obtidos levam à conclusão de que uma redução significativa do consumo começaria a ser obtida com redução na margem do produtor da ordem de 25%.

França (2001) cita que na Espanha foi adotado um cálculo de produção, expresso em pesetas por m<sup>3</sup> de água consumida por hectare, que indica a produção por m<sup>3</sup> utilizado. Sobre esta base, são realizadas comparações entre produtividade hídrica e hidroeconomicidade, sendo que o primeiro reflete apenas a relação entre produção agrícola e consumo de água, enquanto o segundo utiliza o valor de transação dos produtos nos mercados agrícolas. A partir disto, são definidas as melhores combinações de cultivos mais eficientes do ponto de vista econômico e de redução do consumo de água.

Os agricultores, segundo English (2002), citado por Wichelns (2004), podem ser divididos de duas formas quando é analisada a maximização do lucro da atividade agrícola:

- Quando a água é o recurso limitante e a terra é relativamente abundante; ou
- Quando a terra é o recurso limitante e a água é relativamente abundante: – neste caso, os agricultores tenderão a buscar o maior rendimento possível por m<sup>2</sup>, utilizando a água necessária, mesmo que esta seja escassa nas regiões a jusante ou em outras áreas do país.

Wichelns (2004) apresenta equações de maximização de lucro para as situações onde a água é o recurso limitante e onde a terra é o limitante para a produção agrícola.

No caso da água *não* ser limitante, a renda bruta do agricultor será definida pelo valor obtido pela venda da produção menos os custos de produção, que incluem o custo de obtenção e aplicação da água e os outros custos. A renda por hectare é determinada por:

$$i(w) = p_y y(w) - p_w w - cw(w|x, z) - cn(x, z) \quad 4.14$$

sendo  $i(w)$  a renda obtida (\$/ha);  $p_y$  o preço do produto agrícola (\$/kg);  $y$  a quantidade produzida (kg/ha);  $p_w$  o preço da água (\$/m<sup>3</sup>);  $w$  o consumo da água (m<sup>3</sup>/ha);  $cw$  o custo de aplicação da água, que inclui os custos de bombeamento e os da retirada da água do canal terciário e  $cn$  os custos dos outros insumos e serviços e outros custos (excluindo a água) que influenciam a decisão do irrigante. As letras  $x$  e  $z$  representam vetores dos insumos variáveis e fixos, respectivamente. O vetor  $x$  inclui variáveis como trabalho, fertilizante e energia, enquanto que o vetor  $z$  inclui os custos fixos dos

equipamentos de irrigação e os de outros equipamentos necessários. A barra vertical separando as letras  $w$ ,  $x$  e  $z$  na função  $cw$  é para destacar que a análise considera principalmente a variação do custo em função da água consumida.

A condição de maximização da função apresentada é obtida pela primeira derivada com respeito ao consumo de água:

$$\frac{\delta i(w)}{\delta w} = py \frac{\delta y(w)}{\delta w} - pw - \frac{\delta cw(w|x,z)}{\delta w} \quad 4.15$$

$$\text{se } \frac{\delta i(w)}{\delta w} = 0; \quad py \frac{\delta y(w)}{\delta w} = pw + \frac{\delta cw(w|x,z)}{\delta w} \quad 4.16$$

Os irrigantes irão buscar a maximização do lucro, irrigando com a quantidade  $w$  que satisfaça a equação acima, ou seja, o valor do incremento da produção em função da irrigação é igual ao custo da água somado com os custos necessários para obter e aplicar a água na lavoura.

O autor cita que muitas observações podem ser originadas deste critério:

- a maximização potencial da produção só ocorrerá se tanto o custo da água como o custo envolvido na sua obtenção e distribuição forem nulos;
- se o preço da água para irrigação for zero, os custos necessários para sua obtenção e distribuição limitarão a maximização da produção;
- políticas que reduzam o custo da irrigação ou da obtenção e aplicação da água no nível dos irrigantes motivarão a um uso maior da água ou no mínimo igual;
- políticas que mantenham o preço dos produtos agrícolas acima dos valores de mercado motivarão a um uso maior (ou no mínimo igual) da água para irrigação;
- políticas de redução do preço de insumos, como fertilizantes e pesticidas, poderão elevar o consumo de água pelo aumento da produtividade deste insumo.

No caso da água *ser* o fator limitante, o ganho do produtor é expresso não mais por hectare, mas em termos globais, a partir da inclusão da variável área:

$$I(w) = [p_y y(w) - p_w w - cw(w|x,z) - cn(x,z)]A \quad 4.17$$

A variável área ( $A$ ) pode ser substituída pela razão entre o total de água aplicado ( $W$ , m<sup>3</sup>/ano) pelo consumo unitário (m<sup>-3</sup>.ha). A função de maximização é expressa por:

$$p_y \frac{\delta y(w)}{\delta w} - p_w = \frac{\delta c w(w|x,s)}{\delta w} = \frac{p_y y'(w) - p_w w - c w(w|x,s) - c s(x,s)}{w} \quad 4.18$$

O lado esquerdo da equação mostra o incremento bruto por hectare com o aumento da água utilizada na irrigação. O lado direito é a média do ingresso de receita por unidade de água utilizada na irrigação. A maximização da margem do produtor ocorrerá quando o incremento bruto for igual à média do lucro.

Assim, quando a água é um recurso limitante, os lucros serão maiores quando a produtividade média da água é maximizada, ou o retorno incremental por unidade incremental de água é igual ao retorno médio por unidade de água.

$$\frac{\delta \pi(w)}{\delta w} = \frac{\pi(w)}{w} \quad 4.19$$

Quando a água é o fator limitante, o volume disponível determina a dimensão da área ótima a ser irrigada. No caso de uma seca ou redução do volume disponível por uma decisão externa à propriedade, o agricultor não irrigará algumas áreas e reduzirá o consumo nas áreas mantidas em produção.

Esmacili e Vazirzadeh (2009), estudando a distribuição de água no sul do Irã, analisaram as culturas irrigadas, volumes consumidos e margem de produção (excedente do produtor) de oito culturas. Embora a abóbora apresente a melhor produtividade hídrica, a cebola é a que apresenta a maior área cultivada. A cultura da romã apresenta uma produtividade hídrica cerca de 65 vezes menor do que a lima ou 200 vezes menor do que a abóbora, mas continua sendo cultivada. Este comportamento dos agricultores deve-se ao elevado subsídio da água para irrigação, que resulta em um entendimento por parte dos irrigantes de que o custo de oportunidade da água para irrigação é próximo de zero. No caso de um aumento do custo da água, a tendência dos agricultores será substituir a romã pela lima, que tem um alto valor de exportação, ou pela abóbora, que tem a maior produtividade hídrica. Estes autores também citam estudo desenvolvido na China (Han e Zhao, 2007), que observaram uma redução de área cultivada com arroz em virtude do aumento do preço da água.

França (2001) apresenta as tarifas da água em Israel para irrigação, que não seguem apenas critérios de custos marginais, mas também observam as políticas de imigração, de desenvolvimento e dos padrões dos assentamentos. O preço da água é escalonado de acordo

com o volume estipulado para cada cultura. Os primeiros 50% são cobrados pelo valor mais baixo do tipo de água (as águas podem ser de baixo custo – superficiais –, de médio custo – profundas ou superficiais que exijam altos investimentos de bombeamento e distribuição – e de alto custo – grande elevações ou água dessalinizada), enquanto que os restantes 50% são cobrados por um valor mais elevado. Havendo necessidade de complementação, os primeiros 10% extras custam o dobro do valor médio estipulado, sendo que este valor é dobrado para demandas que superem este volume adicional.

Wichelns (2004) indica que políticas que não refletem o caráter de escassez do recurso hídrico, que supõem que os agricultores terão em conta o custo de oportunidade na sua tomada de decisões ou que considerem o impacto de suas atividades fora de suas propriedades contribuem muito para a gestão ineficiente observada em regiões com irrigação. Em muitas áreas, os preços baixos e os direitos de propriedade mal definidos levam ao agricultor a utilizar mais água do que o volume socialmente ótimo e os desestimulam a investir em práticas conservacionistas de água.

A política agrícola do governo influencia o comportamento dos agricultores. Política cambial, taxas e impostos sobre importação ou exportação e taxas ou subsídios sobre fertilizantes, pesticidas, e eletricidade também podem gerar comportamentos que não reflitam a situação de escassez da água para irrigação.

Na Califórnia (França, 2001), espera-se que 153 mil hectares – de um universo de 3,65 milhões de hectares – não serão mais irrigados no futuro devido ao custo da água, que deverá recuperar integralmente os desembolsos relativos ao transporte, à operação, à manutenção e à energia relativos à entrega da água ao irrigante.

Por outro lado, a elevação das taxas pelo uso da água ou a inexistência de linhas acessíveis de crédito para investimento em equipamentos de irrigação levam o irrigante a utilizar menos água do que o tecnicamente recomendado para a cultura. Do ponto de vista público, no entanto, este uso continuará sendo excessivo, por que o custo pago pelos irrigantes não reflete o custo de oportunidade da água, assim como as consequências do uso da água na agricultura, como salinização do solo ou contaminação dos aquíferos, não terem sido considerados na definição do custo da água.

Uma política de subsídios também levará a um consumo excessivo de água se não refletir corretamente os benefícios sociais provenientes da agricultura irrigada.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) propõem a cobrança da água para irrigação por meio de associações de irrigantes, pois esta solução:

- facilitaria a outorga de direito ao uso da água, que pode ser realizada de forma agregada
- reduziria os custos sociais de transação, medição e cobrança pelo uso da água;
- minimizaria a probabilidade de inadimplência por parte dos irrigantes individuais;
- adoção de um preço único, que deveria ser o preço ótimo pelo uso da água na irrigação, reduzindo a possibilidade de rejeição do pagamento por parte dos irrigantes.

Os autores indicam que pode haver tratamento distinto entre diferentes associações de irrigantes de uma mesma bacia hidrográfica. A partir disto, pode-se definir valores de cobrança de cada associação pela da expressão:

$$V_{ij} = p_i^* x_{ij} R_j \quad 4.20$$

sendo  $V_{ij}$  o valor a ser cobrado da associação de irrigantes  $j$  pelo uso da água nessa modalidade de uso  $i$ ;  $p_i^*$  o preço ótimo nesse uso,  $x_{ij}$  o volume de água demandado pela associação de irrigantes  $j$ ; e  $R_j$  o coeficiente de ponderação relativo à associação  $j$ .

Os autores colocam que cada associação pode decidir internamente por um sistema de cobrança diferenciada, como forma de beneficiar alguns irrigantes com renda menor. Sugerem, ainda que, para evitar as *dificuldades de medição do consumo em zonas rurais, que a medição volumétrica necessariamente impõe*, formas alternativas podem ser adotadas, tais como:

- medição direta com o uso de hidrômetros
- medição indireta por estimativa de área plantada, com base em coeficientes de consumo por cultura, região e tecnologia de irrigação adotada

- medição indireta com o uso do consumo de energia elétrica da estação de bombeamento.

Para prevenir que uma associação faça um requerimento superior às necessidades dos seus irrigantes (para fins de outorga), os autores sugerem a criação de uma parcela fixa de cobrança, independente do consumo final, e de uma parcela variável, relacionada com este consumo:

$$V_{ij} = fx_{ij}^0 + (p_i^* x_{ij} I_j - fx_{ij}^0) \quad 4.21$$

sendo  $x_{ij}^0$  a quantidade de água requerida no processo de outorga pela associação de irrigantes  $j$ ;  $f$  o custo fixo médio e  $I_j$  o consumo efetivo da associação.

Wichelns (2004) afirma que no caso de muitos irrigantes estarem vinculados a uma mesma fonte de água, os volumes de água podem ser distribuídos de forma (i) a alocar para todos os irrigantes o volume ótimo, (ii) modificar o preço da água para o irrigante, para que ele escolha o volume necessário de acordo com o benefício para a sociedade ou (iii) os irrigantes transacionem entre si, em um mercado de água, os volumes excedentes ou necessários de acordo com seu planejamento de produção.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) defendem que a cobrança em duas parcelas, conforme apresentado acima, induziria ao consumo mais racional da água, possibilitando que um irrigante que não vá utilizar total ou parcialmente a água prevista possa transferir esta quantidade para outros usuários do sistema.

Esta situação foi verificada no Vale do Sado, em Portugal, no qual a gerência técnica da associação vai realizando balanços periódicos entre os consumos efetivos e os projetados por cada agricultor, remanejando os excedentes entre os que gastaram menos do que o previsto e os que necessitam de mais água para completar o ciclo cultural. Essa situação é favorecida pela existência de irrigantes fora do sistema de canais, que estão dispostos a receber quantias de água variáveis ao longo dos anos e durante o período de safra, assim como irrigantes que tiveram problemas na condução da irrigação da lavoura.

Segundo França (2001) a maioria dos países que realizou reformas na cobrança da água da irrigação, adotou tarifas volumétricas, medição controlada do uso da água, abandono do sistema de tarifas uniformes e fixas ou tarifas de valores mínimos,

introduzindo uma lógica de incentivos dirigidos especificamente para o uso mais eficiente da água.

### 4.3. Projetos coletivos de irrigação

Um projeto coletivo de irrigação pode ser entendido a partir das seguintes definições básicas (Tiercelin et alli, 1998):

- perímetro de irrigação – toda a superfície irrigada ou não, que pode receber água de irrigação. Esta superfície é superior à área do perímetro dominada pela distribuição de água por gravidade
- perímetro irrigado – zona de cultivo efetivamente irrigada pelos canais
- rede de irrigação – conjunto de obras e equipamentos que asseguram o transporte e a distribuição de água até o início (ou a cabeça) da parcele cultivada
- rede de irrigação por gravidade ou rede de canais – rede de irrigação na qual a água escorre a superfície livre, desde um ponto mais alto até um ponto mais baixo. A energia em jogo então é a força peso e o canal apresenta uma pendente longitudinal mais ou menos importante e não tolera declividades adversas.
- cantoneiros – um perímetro irrigado por gravidade é servido por uma rede de irrigação, uma rede de drenagem e uma rede de circulação. O gerenciamento destas três redes em um espaço limitado é responsabilidade dos cantoneiros. Um cantoneiro orienta o trabalho dos canaleiros, responsáveis pela abertura e fechamento das tomadas de água parcelares;
- *módulo de rega ou Main d'eau* – vazão que pode ser manipulada pelo irrigante ou pelo aguador. Em geral, a tomada de água depende da capacidade técnica do irrigante mais do que o modo de irrigação ou das culturas a irrigar. Este termo tem origem nos sistemas de irrigação superficial, notadamente por sulcos, nos quais os irrigantes tinham que conduzir a água ao longo das parcelas, com a utilização de enxadas. Este valor de vazão, então, referia-se à quantidade de água que o irrigante conseguiria levar até o final do quadro irrigado, sem permitir a formação de poças. Segundo Poirre e Ollier, são diversos fatores que determinam o valor do módulo. O primeiro é o método de irrigação, sendo que quanto mais aperfeiçoado for este, menor será o valor do módulo. Em segundo, as condições do terreno, sendo que terrenos nivelados necessitam de menos água. O terceiro, a permeabilidade do solo, no entanto, é o fator limitante mais importante. O

módulo não deve ter valores elevados, pois necessitaria de mais de um homem para conduzi-lo, exigiria canais terciários ou quaternários com seções maiores e tomadas parcelares também maiores, gerando custos maiores e afetando a viabilidade de sua implantação. Se for muito pequeno, por outro lado, não será suficiente para atender uma superfície de maior expressão ou exigirá um tempo de manejo muito grande, elevando o custo da mão de obra. Os módulos variam entre 20 e 100 l/s, sendo o valor de 40 l/s o mais corrente (Tiercelin, 1998; Heras, 1981).

Poirre e Ollier (1965) afirmam que uma rede de distribuição de água dificilmente é uma obra privada, mas sim de interesse de um grande número de irrigantes.

Os grandes projetos coletivos de agricultura irrigada utilizam, habitualmente, sistemas de canais para o transporte e distribuição de água, por razões técnicas e econômicas (Rijo et alli, 2007). Atualmente, os sistemas coletivos clássicos com distribuição da água por um sistema de canais vêm sendo substituídos por redes coletivas pressurizadas em muitos países, por permitirem uma maior economia de água e grande facilidade e flexibilidade de assumir uma distribuição à demanda. (Gomes, 1999)

No entanto, para regiões onde a irrigação superficial é a mais aconselhada, ou onde o valor da produção agrícola por unidade de área é baixa, tal substituição não teria justificativa ou viabilidade.

Segundo Rijo (1993), o problema do transporte e distribuição de água, comum a todas as redes de alimentação, é particularmente difícil de resolver no caso das redes de canais, pelas razões seguintes:

- o controle dinâmico dos escoamentos em superfície livre é mais complexo do que o dos escoamentos sob pressão;
- em regime de exploração, os regimes de escoamento raramente são permanentes;
- as distâncias e, conseqüentemente, os tempos de transporte podem ser elevados;
- a rede de canais pode ser muito ramificada e comportar diversas singularidades, aumentando, assim, a complexidade do sistema.

Entende-se por rede de irrigação o conjunto de órgãos, obras e dispositivos que asseguram o transporte, repartição e distribuição, a cada parcela irrigada, das águas destinadas às culturas, bem como os dispositivos que permitem evacuar a vazão excedente. (Heras, 1981)

O esquema mais comum de alimentação de uma rede de irrigação por gravidade, a partir de montante, é (Heras, 1981):

- Uma obra de captação de águas, situada nas proximidades de um rio, lago, poço, barragem, etc.;
- Um canal de derivação, que parte da obra de captação e leva a água até as imediações da zona irrigável;
- Barramentos compensadores, que permitem regular a vazão para atender o canal de derivação;
- Rede primária, em geral representada por um canal com alguns ramais, sendo, de certo modo, uma continuação do canal de derivação;
- Rede secundária, constituída de uma rede de canais que partem do canal principal e dominam diferentes superfícies da zona irrigável, terminando, geralmente, nos ramais correspondentes à rede de drenagem;
- Rede terciária, composta por um conjunto de canais originados na rede secundária e distribuem a água por toda a superfície irrigada;
- Rede de drenagem, que permite evacuar os excessos de água da zona irrigada.

Ainda segundo Tiercelin et alli. (1998), a rede de canais propriamente dita apresenta uma hierarquia com no máximo quatro níveis:

- Um ou mais canais primários ou principais que dominam a zona de irrigação
- Os canais secundários, que abastecem os setores de irrigação
- Os canais terciários, que são alimentados pelos secundários e transportam uma a três *main d'eau* para abastecer os sub-setores de irrigação

- Os canais quaternários ou regadeiras (arroseurs) ou canaletas (filioles) que distribuem um *main d'eau* para abastecer as quadras hidráulicas.

Segundo Rijo (1993), os constituintes das redes de rega em superfície livre são assim definidos:

- Rede de rega ou sistema de rega – sistema que liga a fonte ou fontes de abastecimento, habitualmente barragens de acumulação (albufeiras), aos diferentes pontos de distribuição de água às parcelas;

- Rede de transporte ou rede primária – parte do sistema de rega que liga a fonte de abastecimento à rede de distribuição. A sua função principal é o transporte das vazões necessárias, apesar de, às vezes, também realizar distribuição aos irrigantes localizados junto a ela;

- Rede de distribuição ou rede secundária e terciária – parte do sistema que liga a rede primária às tomadas de água dos irrigantes. É, habitualmente, constituída da rede secundária, que liga a rede primária à terciária, com função preponderante de transporte, e pela rede terciária, que é a parte do sistema diretamente responsável pela distribuição de água aos irrigantes;

- Tomada d'água – órgão ou dispositivo hidráulico que regula diretamente a vazão a distribuir à parcela irrigada;

- Reservatórios intercalares de regulação – reservatórios situados no interior das redes de canais ou paralelos a esta, com a função de acumular os excessos de água em trânsito, quando as redes de distribuição não apresentarem capacidade para isto. Também podem ser utilizados quando é insuficiente o tempo de resposta de um sistema onde a demanda é livre por parte dos irrigantes, como forma de aumentar o grau de liberdade dado a estes;

- Regulador transversal ou regulador – toda a estrutura ou dispositivo mecânico que, numa determinada seção transversal, regula as cotas da superfície livre, na maior parte dos casos, podendo ainda regular as vazões aduzidas para jusante. Por norma, ocupa toda a largura da seção transversal e pode ser constituído por vertedores ou por uma ou várias comportas associadas em baterias.

- Trecho de canal regulado ou trecho – parte de um canal compreendido entre dois reguladores.

De acordo com Poirre e Ollier (1963), em um perímetro irrigado a irrigação não ocorre em toda a área dominada, sendo que há uma variação ao longo dos anos. Citando um estudo norte-americano, os autores apresentam a seguinte evolução da relação entre a área irrigada e a área dominada:

Tabela 11 – Relação entre a área irrigada anual e a área dominada em perímetros irrigados

Anos após o término das obras	Relação entre as áreas
5	0,36
10	0,38
15	0,68
0	0,76
30	0,82
40	0,85
50	0,86

Fonte: Poirre e Ollier (1963)

De modo geral, na maioria dos países da América Latina os resultados dos projetos de irrigação coletiva, públicos ou privados, não têm atingido as metas esperadas (Effertz et alli, 1993). A falta de êxito na execução de projetos e/ou programas no setor agropecuário tradicional resulta de algumas situações, entre as quais podem ser consideradas:

- desvinculação entre a etapa de elaboração de projeto e sua execução;
- desvinculação entre projetista e executores do projeto com os usuários ou beneficiários do mesmo;
- desvinculação entre o que se quer fazer e a maneira de fazê-lo.

Mesmo para projetos que tenham sido bem concebidos e bem implantados em termos físicos, o funcionamento depende de pessoas e formas de atuação, estando sujeitos a deficiências no cumprimento dos propósitos iniciais, as quais podem levar ao não atendimento das metas fixadas e até prejudicar o sistema e os beneficiários do projeto, como no caso de falta de água para as lavouras devido ao excesso de perdas, isto é, pela baixa eficiência global da prática de irrigação.

A concepção de uma rede deve assegurar uma repartição de água equitativa entre os irrigantes, motivo pelo qual sua concepção é um trabalho delicado, não sendo um problema comum de hidráulica. Sem organização e sem disciplina, os irrigantes situados no início da rede captariam, para seu proveito, toda a vazão disponível (Poirre e Ollier, 1965).

A vazão de cálculo dos canais depende da disponibilidade de água (Poirre e Ollier, 1965), sendo que no caso da existência de água em abundância, a vazão de cálculo deve ser a suficiente para atender à necessidade máxima das plantas, acrescentando-se 20% a 30% deste valor para compensar as perdas de distribuição. No caso de restrição hídrica, a vazão de referência depende do plano de cultivo previsto, selecionando-se a maior demanda mensal prevista.

Definida a vazão, estabelece-se o método de distribuição que será adotado. Essa decisão é fundamental e deve ser tomada no início da concepção do projeto da rede de canais de forma a responder à pergunta: qual será a forma de atendimento da demanda? A programação do fornecimento de água pelo sistema de distribuição é feita para minimizar as perdas operacionais e influencia todas as outras decisões sobre o sistema de canais.

O fornecimento de água aos irrigantes (Mayer, 1945) pode ser *contínuo; em rotação ou contra-pedido*. Heras (1981) resume os métodos a duas possibilidades, *por turnos* (ou rotação) *ou por demanda* (contra-pedido)

De acordo com Rijo (1993) os principais tipos de sistema de distribuição de água em sistemas de irrigação são:

- *pela demanda*: o agricultor dispõe de água em qualquer momento e em qualquer quantidade

- *semi-demanda*: o agricultor dispõe de água após ter solicitado. O volume por hectare é limitado;
- *rotação de canais com demanda livre*: os canais secundários recebem água por turnos, e, quando a água chega a um setor, os agricultores podem usar a quantidade que quiserem;
- *por turnos*: os canais secundários recebem água por turnos e os irrigantes, dentro de uma determinada zona servida por este canal, recebem água em horas e quantidades fixadas previamente;
- *vazão contínua*: em toda a temporada de irrigação, o agricultor recebe uma pequena mas contínua vazão, que compensa a evapotranspiração diária das culturas.

O método de distribuição *contínuo* implica no *direito* do irrigante de utilizar esta vazão em qualquer ocasião. Segundo Mayer (1945), é o único processo aplicável na cultura do arroz. Esse processo é o preferido pelos irrigantes com pouca experiência, talvez por ser o mais semelhante ao escoamento dos cursos de água naturais e podem programar a irrigação de suas parcelas de acordo com sua conveniência. Por outro lado, para a implantação do perímetro, a adoção deste método pode significar custos menores, pois os canais terão uma seção mínima, já que a vazão será constante. Isso é particularmente interessante no caso de redes que utilizam tubulações, pois os diâmetros serão pequenos. Os inconvenientes na sua adoção são:

- Como a água será fornecida continuamente, a vazão parcelar será demasiadamente pequena, resultando em grande dificuldade em manejá-la (o que não se aplica para a lavoura de arroz irrigada por inundação, em que o manejo da água não é como na irrigação por sulcos, por exemplo, na qual o irrigante deve conduzir a água ao longo da parcela);
- Se o agricultor sempre tem água à sua disposição, é frequentemente levado a usá-la em excesso e, por vezes, até em épocas impróprias;
- É um método que favorece o desperdício, o encharcamento do terreno junto dos canais de distribuição e a elevação do nível do lençol subterrâneo.

Neste método podem ser observadas três situações distintas (Poirre e Ollier, 1965):

- A vazão é superior ao módulo: o irrigante pode realizar uma rotação dentro da sua parcela, dividindo-a em 2 ou 3 partes, se a vazão for igual a 2 ou 3 módulos;
- A vazão é pouco inferior ao módulo: o irrigante dirige esta quantidade de água para parcelas menores da área irrigável. Isto traz como inconveniente a necessidade de implantar-se redes internas de distribuição, o que pode ser muito custoso;
- A vazão é muito inferior ao módulo: neste caso, o irrigante terá que acumular a água em um reservatório ou irrigar áreas muito pequenas.

Ferreira (1986) indica que a vazão em um canal terciário para vazões *contínuas* pode ser obtida pela expressão:

$$Q_t = A_t \times \frac{N_i \times 0,1157}{E_a \times E_c \times E_d \times T} \quad 4.22$$

sendo  $Q_t$  a vazão do canal terciário, em l/s;  $A_t$  a área atendida pelo canal terciário, em hectares;  $N_i$  a necessidade de irrigação média ponderada da área  $A_t$ , em mm/mês; 0,1157 o fator de conversão de mm/dia para l/s;  $E_a$  a eficiência de aplicação média das parcelas inseridas na área  $A_t$ ;  $E_c$  a eficiência de condução;  $E_d$  a eficiência de distribuição;  $T$  o número de dias do mês considerado.

Heras (1981) afirma que o cálculo da vazão de projeto para definição das estruturas de distribuição é obtido por:

$$Q_0 = H.M \quad 4.23$$

$$\text{sendo } H = \frac{S}{S_M} \quad 4.24$$

sendo  $Q_0$  a vazão na cabeceira do canal terciário, em m<sup>3</sup>/s;  $H$  o número de módulos;  $M$  o módulo eleito (m<sup>3</sup>/s);  $S$  a superfície total dominada pelo canal terciário (em hectares); e  $S_M$  a área máxima atendida pelo módulo  $M$ , irrigando continuamente durante a jornada de rega.

A vazão irá diminuindo ao longo do canal conforme ocorra a derivação pelos módulos sucessivos, sendo que se verificará a seguinte situação hipotética:

$$Q_i = (H - i).M \quad 4.25$$

sendo  $Q_i$  a vazão de projeto para o trecho correspondente entre a tomada de água de ordem  $i$  e a de ordem  $(i+1)$ , quando as tomadas são numeradas de montante para jusante.

No caso em que o serviço das tomadas de água não seja contínuo, isto é, quando os módulos são programados para abrirem durante tempos fixos, a intervalos previamente determinados pelo plano de irrigação, a vazão de projeto na cabeceira do canal terciário será a mesma definida pela expressão anterior, mas a diminuição da vazão de projeto somente se realizará agora quando coincidir que os tempos de serviço das tomadas de água sejam iguais. Se a jornada de irrigação não cobre todo o dia, é conveniente que os canais terciários permaneçam cheios, devendo-se fechar as tomadas de água de jusante para montante, ainda que se possa perder uma quantidade de água nesta operação. Por outro lado, se os canais serão esvaziados, as tomadas serão fechadas de montante para jusante, mas isso exigirá que o plano de irrigação considere que é necessário um tempo extra na jornada de irrigação para encher os canais antes de iniciar a irrigação. (Heras, 1981)

O método de *rotação* ou *por turnos* consiste em fornecer a água por turnos a diferentes setores do sistema de irrigação. O princípio deste método é o seguinte (Poirre e Ollier, 1965): *a água chega aos proprietários apenas em intervalos determinados, porém com uma vazão igual ao módulo, ou seja, geralmente muito mais importante que a vazão contínua necessária. O tempo durante o qual uma propriedade recebe esta vazão é reduzido na mesma proporção, de modo a que receba apenas o volume definido e não mais.*

Com isto, as vazões conduzidas pelos canais são maiores, bem como às que são entregues às parcelas de irrigação. Isso torna mais eficaz o trabalho do irrigante, facilitando a distribuição da água na parcela, evitando desperdícios e o excesso de umidade nos terrenos junto aos canais. Porém, necessita de certa disciplina e submissão a um plano de distribuição previamente estabelecido, o que afeta a independência do irrigante.

Raposo (1996) acrescenta que a distribuição pode ser realizada por *volume constante* (cada agricultor recebe o volume fixado, independente da disponibilidade hídrica) ou por *volume proporcional* (cada irrigante recebe uma parte do disponível naquele instante), sendo esta situação mais encontrada em projetos antigos no norte da África para repartição da água de cursos superficiais intermitentes.

Ainda segundo Raposo, a rotação é o método mais utilizado em todo o mundo, inclusive em Portugal, e é o método mais adaptado para a irrigação superficial. Em sistemas onde foi adotado (Mayer, 1945) observou-se que os irrigantes inicialmente mostram relutância em aceitá-lo, porém logo se convencem da sua utilidade. Para os gestores do sistema, o método da rotação tem mais dificuldades operacionais do que o de fornecimento contínuo, que exige um estudo criterioso dos horários de rega e programação dos canais que serão atendidos. O método permite que se substitua o controle de vazão por um controle de tempo de distribuição, muito mais fácil de medir e controlar, partindo-se da hipótese de que é possível manter constante a vazão calculada.

A rotação é observada principalmente nos canais de menor hierarquia, com menos frequência nos canais secundários e excepcionalmente nos canais primários. Ainda há que considerar-se que os canais sofrem um processo de enchimento e esvaziamento constante, o que provoca uma maior perda por infiltração em comparação com o método anterior, no qual as valas sempre estariam com água. No entanto, Poirre e Ollier (1965) citam a irrigação no Egito como exemplo de rotação no canal principal, colocando como desvantagens importantes a perda de tempo para a operação, os atrasos da chegada da água nos trechos anteriormente em descanso, a manutenção mais delicada das obras, a manutenção de intervalos fixos que não respeitam as diferentes necessidades das plantas ao longo do ciclo vegetativo e não considerar a ocorrência de chuvas ou ventos que prejudicam a aplicação da água. Como justificativa para adotar tal sistema, os autores citam a necessidade de evitar-se as perdas nos canais secundários para os cultivos irrigados por outros canais mais abaixo, quando a rede é muito extensa para limitar as quantidades de água, inclusive quando esta não escasseia, para evitar o encharcamento do solo ou a dificuldade de drenagem; para controlar a ascensão de sais à superfície do solo pela facilitação da drenagem pela imposição de um menor nível de água nos canais; a necessidade de retirada do limo dos canais ou promover a limpeza destes; para atender adequadamente as necessidades de múltiplos cultivos na época correta e observando intervalos de tempo mínimos entre regas; e por variações importantes na fonte de água que alimenta os canais durante o ano.

O resultado, no entanto, pode ser uma rega pouco racional, muito distante da necessidade dos cultivos, havendo desperdício de água algumas vezes e escassez em outras, com encharcamento ou ressecamento do solo.

Lamaddalena et alli (1994), comparando a gestão de dois projetos de irrigação similares, concluíram que a rotação não induz a economia de água, resultando em consumos unitários mais elevados do que o do sistema por demanda. No entanto, este sistema, quando aplicado em um projeto concebido por rotação, pode levar a situações de inviabilidade de atendimento da vazão necessária, por esta ser superior à capacidade de transporte do canal principal.

O método de fornecimento de água a *contra-pedido* só é aplicável quando a capacidade dos canais e a vazão disponível é bastante superior à superfície irrigável. Sendo possível atender ao irrigante quando ele desejar e fornecendo a quantidade de água solicitada no tempo estabelecido, torna o processo inteiramente satisfatório ao irrigante, mais do que o fornecimento contínuo. Poirre e Ollier (1965) colocam que este é o método tecnicamente melhor e mais racional, ainda que não seja o mais econômico na implantação da rede. No entanto, é um processo muito difícil de ser colocado em prática, porque o mais provável é que os pedidos de muitos irrigantes se concentrem em determinadas épocas, determinadas pela natureza dos cultivos ou pelas condições climatológicas, de mercado ou disponibilidade de maquinário, entre outras causas, e não haja água ou capacidade de transporte do sistema de canais suficiente para atender a todas as solicitações. Ainda deve-se considerar a possibilidade das parcelas que serão irrigadas estarem muito dispersas, gerando a necessidade de transportar a água por grandes distâncias para atender estas demandas, o que pode tornar as perdas de água e de tempo de operações importantes, afetando a viabilidade financeira do gestor do sistema para executar estas operações. Esse método também considera que o irrigante tenha conhecimento correto das necessidades de água dos cultivos, sendo necessária a vulgarização de conhecimentos técnicos para que isso ocorra.

Assim, segundo Mayer, esta distribuição só é observada durante os primeiros anos de funcionamento de uma rede de distribuição ou durante as épocas do ano em que as exigências de água são diminutas. Considerando o crescimento da relação entre a área

irrigada e a área dominada, verifica-se que a distribuição contra-pedido pode ser realizada ao longo dos primeiros anos sem muitas limitações, pois os canais de distribuição são dimensionados para valores entre 95% e 100% de irrigação da área dominada e, com isto, terão dimensões suficientes para permitir este método de distribuição para uma área consideravelmente menor. Poirre e Ollier (1965) colocam textualmente que

*Ademais, para que os irrigantes não tenham a intenção de abusar, a água deve ser vendida e eles **por volume realmente consumido**.*

Raposo prefere denominar este método de outra forma, com expressões como *à vontade, ao livre arbítrio ou rega livre*, de forma a mostrar que a lógica deste sistema é liberdade de uso da água pelos irrigantes, no *quando* e no *quanto irrigar*, sendo o único limite a capacidade de transporte do sistema de distribuição ou das tomadas de água. Este é o método mais adequado para a irrigação pressurizada, que deve ser complementada pela medição dos volumes utilizados. Pela provável variação da distribuição ao longo dos setores do perímetro, esta modalidade é mais recomendada para redes em tubulações enterradas.

Se a distribuição contra-pedido for adotada em canais, além dos problemas de dimensionamento e de estabilidade de taludes, há uma maior dificuldade em combater a infestação de ervas invasoras e processos de eutrofização das águas.

Os sistemas de irrigação públicos no Brasil (excluindo os da região Sul, projetados para vazão contínua) são, usualmente, projetados ou operados para fornecer água quando necessário (*demand system*), porém, quando a demanda ultrapassa a capacidade de fornecimento do sistema, é necessário controle e programação da distribuição. Se não há uma programação e controle, alguns irrigantes ao longo do sistema não mais receberão a quantidade necessitada. Isto pode acontecer, especialmente, nos meses de demanda máxima e em horários de demanda máxima durante o dia. Na maioria das vezes, os beneficiários dos projetos de irrigação implantados pelo setor público são pessoas acostumadas a gerenciar o lote isoladamente e com pouca experiência de irrigação. Este é outro fator de aumento de perdas. (Effertz et al, 1993).

Heras (1981) pondera, ainda, que se o sistema de distribuição é livre, a capacidade de vazão de cada tomada deve ser superior à vazão fictícia contínua, sendo este um valor

definido por um plano de cultivo estimativo, definido ainda na fase de projeto, pois o irrigante pode solicitar a quantidade necessária para atender a demanda diária das plantas em um tempo inferior a 24 horas. Evidentemente, a adoção de vazões elevadas que serão utilizadas somente algumas horas por dia resulta em um custo muito elevado da rede de distribuição e este custo será tanto mais elevado quanto maior for o grau de liberdade dado aos irrigantes. Assim, o problema é o custo da liberdade.

Segundo Raposo (1996), esta lógica de distribuição é muito atrativa para os irrigantes, sendo que perímetros implantados com a possibilidade de fornecimento de água contra-pedido apresentam uma maior área efetiva em menor tempo após a implantação. O maior inconveniente é o elevado custo inicial, pois as redes têm que ser concebidas com as folgas necessárias para garantir o livre acesso à água.

Uma forma de reduzir este custo é limitar o uso possível dentro do mesmo setor de irrigação, considerando que apenas parte dos agricultores poderá irrigar ao mesmo tempo, com o que se pode atingir até 15% de redução dos custos.

Correspondente à vazão fictícia, há um tempo de irrigação máximo, T. No entanto, a utilização da rede de irrigação tende a ser menor, correspondendo a um tempo T'. A relação entre estes tempos é dada por

$$r = \frac{T'}{T} < 1 \quad , \quad 4.26$$

sendo r denominado de *rendimento de utilização da rede*.

A definição de T' vem da compreensão de que durante o tempo T-T' a vazão é nula, ou seja, a probabilidade do funcionamento das tomadas de água neste intervalo é nula. No entanto, é mais provável que a demanda seja sempre variável e, conseqüentemente, a probabilidade de haver uma vazão em alguma tomada também é variável. A introdução do parâmetro r significa a aplicação de um coeficiente 1/r da probabilidade de cada tomada, calculada sobre a totalidade do período de ponta T, para ter em conta a sua variação em relação à média.

Para jornadas de irrigação diárias de 16 e 18 horas (limitadas por turnos de trabalho dos canaleiros), o valor de r é, respectivamente, 0,66 e 0,75. No entanto, Clement (Heras,

1981) na análise desta situação, considera que o valor de  $r$  deve ser muito próximo à unidade, considerando a irrigação por aspersão, pois os agricultores têm a tendência de irrigar ao longo de toda a jornada. Valores baixos de  $r$  significam um sobre-dimensionamento da rede para que não haja problema de distribuição.

Os estudos de Clement (Heras, 1981) baseiam-se na distribuição de Bernoulli, considerando que a probabilidade das tomadas estarem abertas ou fechadas são complementares à unidade, isto é

$$q = 1 - p \quad 4.27$$

em que  $q$  é a probabilidade da tomada estar fechada e  $p$  é a probabilidade de estar aberta.

A partir do valor de  $r$ , pode-se estimar a vazão fictícia para o tempo  $T'$ , isto é,  $f'$ :

$$f' = \frac{f}{r} \quad 4.28$$

Assim

$$R \cdot f' = D' = \frac{D}{r} = \frac{f \cdot R}{r} \quad 4.29$$

sendo  $R$  o número total de tomadas de água na rede considerada;  $D$  a vazão fictícia contínua na cabeça da rede, para um tempo de utilização  $T$ ;  $D'$  a vazão fictícia contínua na cabeça da rede, para um tempo de utilização  $T'$

O grau de liberdade dado aos irrigantes é definido por:

$$g' = \frac{d}{f'} \quad 4.30$$

em que  $d$  é a vazão máxima em cada tomada de água, considerando-se que as tomadas sejam iguais.

A probabilidade  $p$  para que  $i$  tomadas das  $R$  tomadas da rede estejam funcionando obedece a distribuição binomial ou de Bernoulli (Heras, 1981), resultando:

$$P_i = \binom{R}{i} p^i (1-p)^{R-i} = \binom{R}{i} p^i q^{R-i} \quad 4.31$$

Considerando-se que as probabilidades de que o número de comportas em funcionamento é um fenômeno independente, pode-se assumir que

$$P_N = \sum_{i=1}^{i=N} \binom{R}{i} p^i q^{R-i} \quad 4.32$$

O valor de  $P_N$  é denominado de *qualidade de funcionamento* e uma vez fixado pode-se calcular o valor de N que determina o número de tomadas em funcionamento simultâneo correspondente a este grau de qualidade. Clements (Heras, 1981) sugere que este valor varie entre 95% e 99%.

Os estudos de Clement (Heras, 1981) resultaram em processos mais práticos de determinação dos valores necessários para a manutenção da qualidade da rede, com a determinação de duas fórmulas generalizadas.

Para qualquer situação, o roteiro para a determinação dos valores necessários é:

- a. Fixar o coeficiente r de utilização da rede;
- b. Determinar os diferentes subconjuntos de tomadas homogêneas em relação à vazão;
- c. Calcular a probabilidade p de funcionamento das tomadas
- d. Fixar a qualidade de funcionamento  $P_N$  da rede ou de cada trecho da rede, se esta não for uniforme
- e. Aplicar, em cada trecho, as fórmulas de Clement e determinar o número de tomadas que devem ser consideradas abertas em cada um deles
- f. Determinar as vazões correspondentes a cada trecho ou canal terciário, realizando o mesmo processo com relação aos canais secundários e destes em relação ao canal principal. A vazão do canal principal poderá ser diferente do somatório da vazão dos canais secundários, uma vez que os critérios de distribuição de probabilidades também serão aplicados nesta relação.

É importante salientar que a definição das vazões de projeto e do número de tomadas atendidas por cada canal terciário se dá na fase de projeto e que esta definição determina (ou é determinada, conforme o caso) a qualidade de funcionamento, sendo que esta definição é diretamente ligada ao sistema de distribuição estabelecido. Por outro lado, a implantação ou supressão de tomadas de água ao longo de um canal existente interfere nesta qualidade.

Pode-se, ainda, recorrer a sistemas mistos de distribuição, como o fornecimento contínuo aos canais distribuidores e uma rotação entre canais secundários ou terciários, ou utilizar o sistema de contra-pedido na estação climática de menor demanda, alterando-se o método quando houver uma maior exigência de água.

O manejo da água dentro do sistema de canais, para qualquer método de distribuição selecionado, pode seguir um dos três processos possíveis:

- Uma distribuição proporcional entre os irrigantes
- Uma distribuição por volume fixo de água durante a temporada de irrigação, cobrando-se um determinado valor por hectare irrigado;
- Uma distribuição que entrega a cada consumidor um volume que é medido, sendo a cobrança realizada pelo volume efetivamente recebido

A seleção do processo de manejo indicará o tipo de mecanismo de manejo de distribuição de água, que podem ser:

- Partidores: construções que tem a finalidade de dividir a água que é conduzida por um canal em partes proporcionais, entregando alíquotas da vazão a cada canal secundário ou terciário, conservando-se constante a razão entre os volumes parciais entregues a cada canal e o volume total distribuído. O princípio de funcionamento de um partidor pode ser entendido a partir do estudo da vazão em um canal retangular. Para uma altura constante do tirante, a vazão é uma função da largura e da velocidade média,  
$$Q = f(h, b, V)$$

Para dividir-se a vazão em 2, 3 ou 4 partes iguais, basta dividir teoricamente a largura do canal em 2, 3 ou 4 partes iguais. Os resultados são aproximados, já que a velocidade não é a mesma em toda a largura do canal e os partidores provocam contrações

laterais na veia líquida. Heras (1981) afirma que os partidores, quando fixos, têm o inconveniente de distribuir água a parcelas que não necessitam. A colocação de elementos móveis permite fazer estes reajustes. No entanto, os partidores devem ser implantados de tal forma que o regime do escoamento seja rápido, para garantir a qualidade da repartição de vazão, pois o regime fluvial é sensível a obstáculos a jusante do partidor.

- Módulos e reguladores de nível: é o conjunto de estruturas adequadas para quando se opta por distribuir um volume determinado para cada hectare irrigado durante o período total de irrigação, sendo correspondente a uma taxa de acordo com as condições do terreno. Observa-se, por exemplo, no Perímetro do Vale do Sado, em que os solos salinos sob irrigação recebem 18.000 m<sup>3</sup>.ha em cada temporada de irrigação, enquanto que os outros tipos de solo recebem menos de 14.000 m<sup>3</sup>.ha (Associação de Regantes, 2008).

Os reguladores de nível mantêm o nível da água no canal quase constante, independente das vazões circulantes. Podem ser representados, fundamentalmente, por comportas ou por vertedores. As comportas podem ser planas ou curvas; manuais, automáticas de acionamento hidromecânico ou de acionamento elétrico; regular o nível a montante ou a jusante.

Em projetos de redes de distribuição de água em locais onde o suprimento de energia elétrica e os serviços de manutenção são pouco confiáveis, ou onde há carência de mão de obra especializada, a preferência é dada aos sistemas de controle que contam com comportas hidromecânicas automáticas. Estas comportas são controladas por flutuadores e exigem poucos cuidados de manutenção, dada a sua simplicidade de concepção e funcionamento. Resumidamente, é uma chapa metálica, com uma seção correspondente a do canal ou de um orifício que abastece um canal, ligada a um flutuador por meio de uma armação metálica. Essas comportas causam uma pequena perda de carga, menor que a observada em um vertedor (Poirre e Ollier , 1963). O sistema acha-se equilibrado de tal modo que o momento do seu peso é igual e de sentido contrário ao momento da impulsão que a água exerce sobre o flutuador quando o nível da água encontra-se à cota que se pretende manter, sendo esta cota igual à cota do eixo de giro da estrutura.

As comportas que controlam o nível da água a jusante, são normalmente referidas por seus nomes comerciais AVIS e AVIO, sendo estas mais utilizadas no Brasil. As

comportas que regulam o nível da água por montante são chamadas pelo nome comercial de AMIL, sendo muito encontradas em Portugal. Estas comportas permitem facilmente a implantação de instrumentos de controle de seu funcionamento, possibilitando a obtenção dos volumes derivados ao longo do tempo. Como desvantagem principal, está o seu custo relativamente elevado. Também a simulação numérica do comportamento destas estruturas já foi estudada, possibilitando a sua manutenção em projetos de modernização e monitoramento por sensores eletrônicos. (Collischonn et alli, 2001 a,b; Rijo e Betâmio de Almeida, 1994)

Redes controladas por estes sistemas permitem manter níveis aproximadamente constantes imediatamente a montante ou imediatamente a jusante das comportas, e permitem grande independência aos irrigantes ou aos canaleiros que, ao abrir ou fechar as tomadas de água, determinam a vazão no sistema. Comportas deste tipo têm sido usadas desde os anos 50 na Europa e norte da África, e hoje podem ser encontradas em praticamente qualquer país em que se utiliza a agricultura irrigada.

Atualmente, equipamentos controlados por sensores ligados a processadores de dados e acionados por motores têm aumentado a sua importância, principalmente nos países mais desenvolvidos. Comportas planas ou comportas de setor acionadas por motores elétricos e controladas por sensores de nível também podem ser utilizadas. Os limitantes encontrados para a instalação destes equipamentos de controle são a necessidade de revestir os canais, que devem manter uma geometria constante, os custos de instalação e a necessidade de mão de obra especializada para manutenção e operação. No entanto, o aumento da eficiência de painéis solares, a expansão da telefonia celular e a redução dos custos de equipamentos de informática têm revertido esta situação, como no caso do Vale do Sado, onde controladores serão colocados inclusive no final das redes de distribuição e controlados totalmente de forma remota e autônoma.

Outras estruturas simples, como vertedores de grande desenvolvimento, também conhecidos como *bico de pato*, são utilizados para manter a variação dos níveis da água nos canais dentro de intervalos aceitáveis, de tal forma que a alteração da vazão que escoar pelas tomadas d'água parcelares não seja significativa, pois a altura de carga também não irá variar significativamente. Estes vertedores provocam elevação do nível da água a montante

e uma queda da água a jusante, sendo, necessariamente, implantados em trechos revestidos do canal.

Como medidores de vazão, estas estruturas apresentam, como inconveniente, justamente a pequena variação de altura a montante para alterações no valor da vazão, o que compromete a sua precisão, considerando a margem significativa de erro na leitura visuais de réguas instaladas em canais. Também facilitam a deposição de sedimentos a montante, pela redução da velocidade de escoamento, mas isso pode ser evitado quando se une o bico de pato a uma comporta.

Os módulos, por sua vez, garantem uma vazão quase constante quando colocados nos trechos dos canais onde há o remanso causado pelos reguladores de nível, de forma a estabelecer-se uma relação entre nível e vazão que passa por cada módulo para atendimento de uma parcela. A denominação *módulo* tem origem italiana, sendo que o *módulo milanês* data de 1572. Poirre e Ollier colocam que um módulo, na verdade, compreende três elementos distintos: a tomada de água propriamente dita, o órgão regulador e o módulo. Para ser satisfatório, um módulo deve apresentar as seguintes condições (Mayer, 1945):

- Fornecer, em tempos iguais, volumes iguais de água, em quaisquer condições de altura de água e velocidade da corrente no canal de onde é realizada a derivação;
- Ser simples e pouco sujeito a avarias;
- Ser automático;
- Determinar uma pequena perda de carga;
- Não poder ser desregulado pelos irrigantes;
- Ocupar pouco espaço; e
- Fornecer constante e rigorosamente a quantidade de água para a qual está graduado.

Carpenter (apud Wilson, 1911, p. 85) enumera as qualidades mais importantes para um módulo ou equipamento de medição de vazão:

- a vazão deve ser transformável em uma unidade comum de medida, como m<sup>3</sup>/s;
- o mesmo módulo deve permitir a mesma vazão em qualquer lugar;
- deve ser utilizável em canais de todos os tamanhos e permitir a passagem de qualquer fração de sua capacidade para permitir a divisão *pro rata*;
- a alteração da vazão deve ser facilmente reconhecida;
- **deve ser simples o suficiente para ser operado por um homem de inteligência comum** (*opinião do autor, reforçando a necessidade de um instrumento fácil de ser operado ou controlado*), ou os cálculos não devem exigir que se regule a vazão de diferentes módulos ou determinar o montante de água distribuído.
- deve ocupar o mínimo espaço possível;
- a vazão não deve ser afetada por variações no nível de água a montante.

Wilson (1911) afirma que os *módulos* são muito utilizados na Itália e outras partes do sudeste da Europa, sendo que modificações destes módulos eram encontrados na Índia e Estados Unidos.

O módulo italiano (Poirre e Ollier, 1963) consiste em criar uma câmara com uma superfície significativa pela qual passa a água, após transpor uma comporta, que sairá da câmara por uma abertura submersa ou por um vertedor de parede delgada. A câmara consiste no órgão regulador e será operada manualmente mantendo-se o nível interno constante mesmo que o nível no canal varie, para que a vazão escoada pela abertura ou pelo vertedor possam ser determinadas. A figura 5 apresenta o módulo milanês.

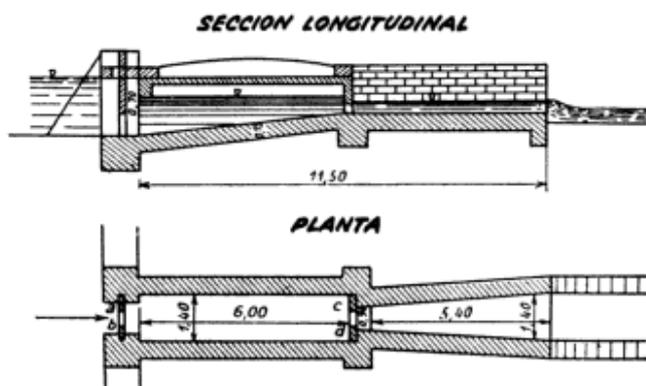


Figura 5 – Módulo milanês (Poirre e Ollier, 1963)

O módulo espanhol é diferente e introduz a regulação automática. A água passa do canal alimentador por meio de orifícios a uma pequena câmara. Nesta, há um flutuador cônico, que obstrui parcialmente um outro orifício que comunica a primeira câmara com outra, situada abaixo desta. Se o nível da água se eleva no canal, o flutuador diminui a abertura do orifício, mas esta diminuição é compensada pela elevação da pressão, visando a manutenção da vazão.

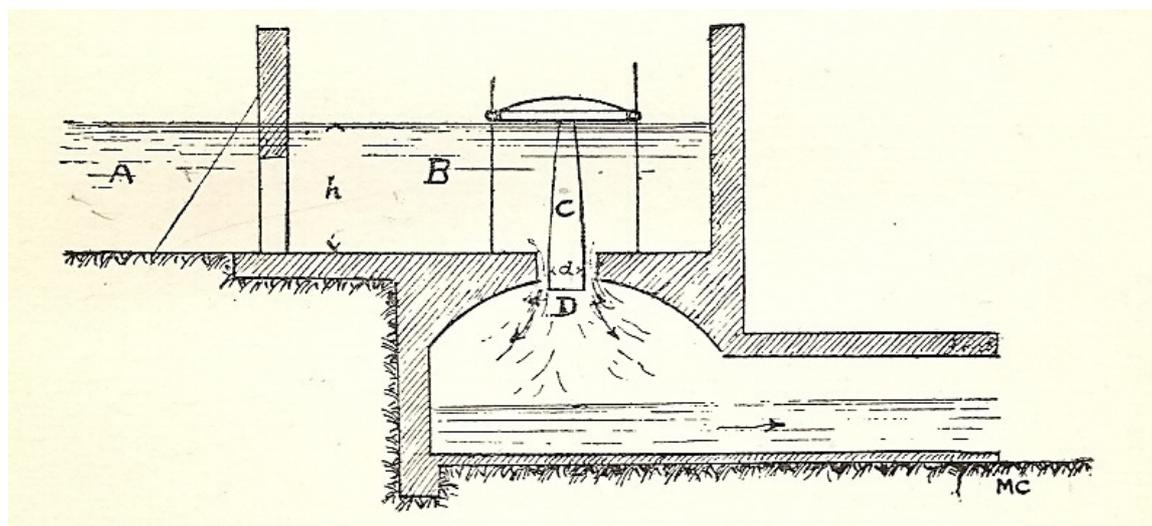


Figura 6 – Módulo de Ribera (Conti, 1912)

Uma adaptação deste dispositivo foi apresentada recentemente por Amaral e Righes (2005) que apresentam uma proposta de estruturas automáticas de controle de água em canais de irrigação de arroz. As duas alternativas estudadas foram uma comporta-segmento associada a um vertedor e um regulador de vazão com controle via orifício, que foram

comparados em relação à sensibilidade de controle de vazão, em função da variação da altura de lâmina de água no canal principal, com duas comportas fixas: uma comporta-gaveta de aço e uma comporta-vertedor de tábuas, ambas de regulação manual com grande aplicação nas lavouras de arroz da região do estudo. A variação do nível do canal principal ao longo da irrigação é de 0,15 m em relação a um valor máximo de 0,9 m, ou seja, uma variação de 16,7%. Para esta variação, o regulador de vazão com orifícios mostrou uma variação na vazão entregue ao canal de apenas 5,6%. As estruturas são mostradas na figura 7 a seguir.

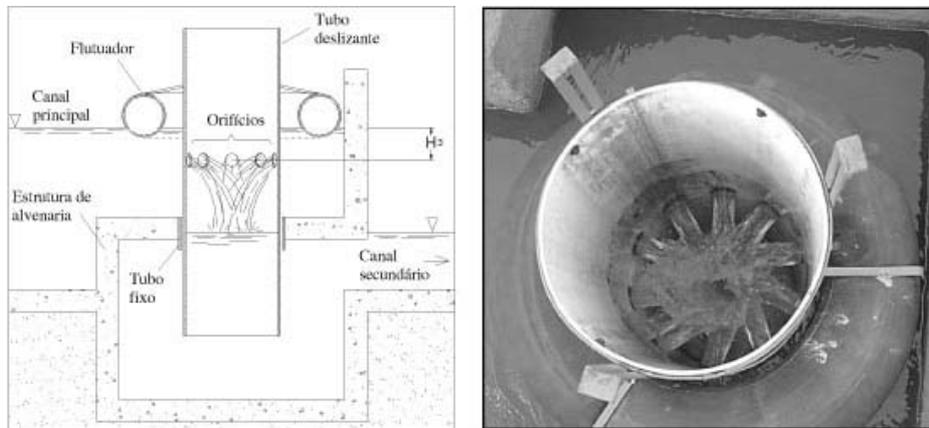


Figura 7: Estrutura automática de controle de vazão em canais de irrigação: regulador com orifícios (Amaral e Righes, 2005)

Em relação ao sistema de pranchas, descrito a seguir, esta concepção tem a vantagem de não precisar da manutenção do nível no canal principal. O módulo de prancha é o mais utilizado em canais europeus. Consiste de um vertedor de crista horizontal, uma prancha metálica inclinada, fixada a uma altura bem determinada acima da crista e uma comporta móvel que fecha ou abre completamente o orifício formado entre a prancha e o umbral do vertedor. O funcionamento deste módulo obedece a dois princípios distintos. Para níveis da água no canal abaixo do bordo superior do orifício, a vazão é dada pelo vertedor. Quando a água ultrapassa aquele nível, o escoamento se dá pelo orifício. As curvas de vazão dos dois dispositivos são distintas, sendo que para o vertedor a vazão é

uma função da altura de carga elevada a  $3/2$  ( $Q = m.b.h^{3/2}.\sqrt{2.g}$ ), enquanto que no orifício esta função é uma raiz quadrada da carga ( $Q = m.b.S.\sqrt{2.g.h}$ ). A figura 8 a seguir ilustra o princípio de funcionamento destes módulos, na qual se observa que há uma faixa onde a vazão tem uma variação de  $\pm 5\%$ , mas a variação da altura de carga é muito maior do que este valor. Assim, os módulos de prancha garantem um valor aproximadamente constante de vazão, mesmo para flutuações significativas do nível da água no canal. Observa-se que os valores de vazão dos módulos comerciais respeitam os valores dos módulos de rega, isto é, os módulos comerciais apresentam valores múltiplos de 5 l/s, sendo os menores dispositivos apresentados como baterias com capacidade para 20 l/s. Poirre e Ollier observam que *a noção de módulo, tão rígida nas redes antigas, onde o método de distribuição por rotação dava ao módulo uma importância fundamental e impunha-lhe uma constância absoluta no interior da rede, desaparece nas redes modernas com distribuição à vontade do irrigante. As vazões administradas podem variar em uma mesma rede, segundo as tomadas de água.* Esta observação é feita no contexto da adoção da irrigação por aspersão em substituição aos métodos de irrigação por superfície, mas reforçam a idéia da vinculação dos módulos com a filosofia da distribuição por rotação.

Outras possibilidades de tomadas de água para a parcela são vertedores controlados por comportas, vertedores Bazin de altura ajustável ou não e orifícios controlados por comportas. Rijo e Arranja (2006) avaliaram o funcionamento destas tomadas, encontrando o pior desempenho para os orifícios controlados por comportas, sendo este o caso das tomadas de água do sistema do Arroio Duro..

Conhecida ou não a vazão, pela aplicação de um dos métodos possíveis, é necessário realizar a sua gestão ao longo do sistema, de forma a atender as demandas das culturas. A “arte” de gerenciar as vazões afluentes ao sistema, as vazões efluentes e as reservas de água nos canais denomina-se *regulação de canais de irrigação* (Rijo, 1997). A regulação tem como objetivos a economia de água, a diminuição do investimento global, a diminuição dos custos de exploração, a simplificação da operação e a diminuição do custo da água útil.

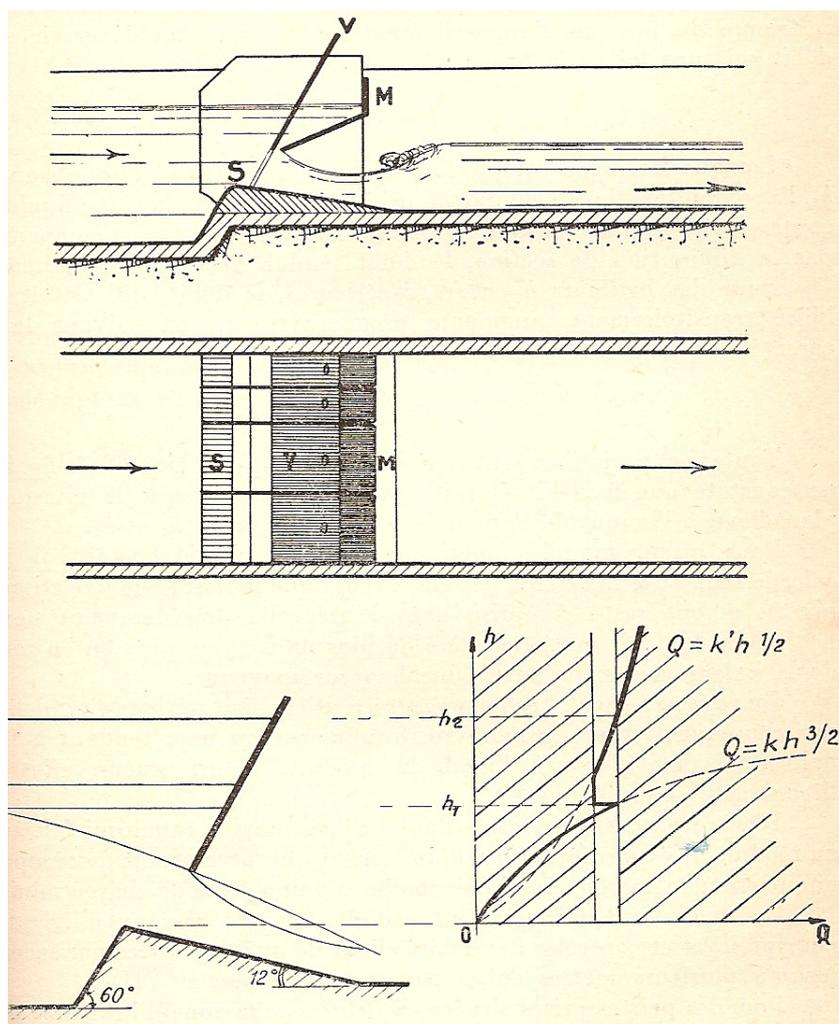


Figura 8 – Módulo de prancha (Fonte: Bauzil, 1952)

O termo regulação refere-se a uma ação do controlador, e objetiva a manutenção de um nível de água ou de uma vazão em determinado valor. A regulação pode ser realizada manualmente, por um operador humano (cantoneiro ou canaleiro), pela força da água em uma comporta hidromecânica, por um flutuador com um controlador lógico programável e uma comporta eletromecânica, etc. Além disto, regulação pode ser realizada por um regulador passivo, como um vertedor de grande desenvolvimento de crista, como um bico-de-pato.

Existem basicamente duas lógicas de regulação que se pode adotar em um sistema de canais (Rijo, 1993), que são:

- a regulação por montante – em um canal regulado por montante, a vazão na admissão determina as vazões a serem distribuídas, que obedecem a calendários ou esquemas de distribuição pré-estabelecidos. Portanto, o funcionamento do canal é regulado pela admissão de água a partir da fonte ou das fontes;

- a regulação por jusante – a vazão a ser admitida no canal é determinada pela vazão retirada pelos irrigantes nas suas tomadas d'água; assim, são os irrigantes ou o canaleiro que ao abrir ou fechar as tomadas d'água que determinam o funcionamento do canal.

O controle dos canais depende da obtenção de informações que permitam estabelecer a estratégia de operação dos reguladores. Uma outra classificação da operação do sistema de canais é a que indica a posição relativa dos reguladores e dos órgãos de obtenção dessas informações. Assim, os sistemas podem ter (Rijo, 1993):

- Comando por montante – os ajustes necessários que devem ser realizados nos reguladores são baseados nas informações que são obtidas a montante destes reguladores. Normalmente, as informações utilizadas são a profundidade ( $y$ ) e as vazões ( $Q$ ). Estas informações podem ser obtidas com o uso de sensores colocados a montante do regulador ou considerar as variações de vazão provocadas pelo canaleiro a montante deste regulador. A informação é transmitida de montante para jusante, sendo que este comando é compatível com a regulação por montante.

- Comando por jusante – os ajustes necessários baseiam-se em informações que vem de jusante, que podem vir de um sensor colocado a jusante do regulador ou ser baseada na variação de vazão provocada pelo canaleiro ou irrigante com a operação das tomadas d'água. A informação é transmitida de jusante para montante, até a admissão da água.

A figura 9 apresenta esquematicamente estes dois comandos, enquanto que a figura 10 apresenta a relação possível entre regulações e comandos, adotando-se os conceitos de regulação e controle do autor.

Já o controle indica o *nível de tomada de decisão*. Os diferentes métodos de distribuição de água podem ser definidos atendendo a diversos graus de liberdade

oferecidos aos irrigantes para a organização das regas em termos de vazão, frequência e duração das distribuições. Então, o controle pode ser (Rijo, 1993):

- Local – a decisão sobre as distribuições é tomada pelo irrigante, sem intervenção do responsável pelo sistema de irrigação;
- Intermediário – a decisão é por acordo entre o irrigante e o responsável pelo sistema;
- Central – a decisão sobre as distribuições é tomada pelo responsável pelo sistema.

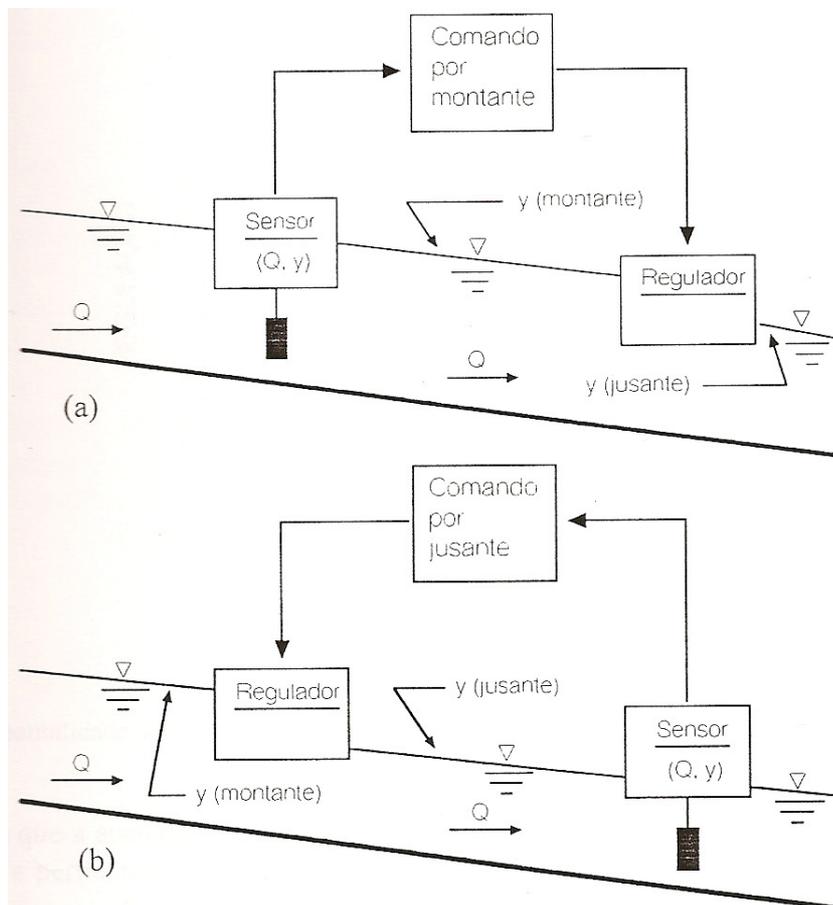


Figura 9 – Comando por montante e comando por jusante (Rijo, 1993)

Existem outras classificações para designar a operação de sistemas de canais e muitas vezes os conceitos de regulação, controle e comando são utilizados como sinônimos.

Para designar os métodos básicos de operação de um sistema de canais são encontrados na bibliografia diferentes conceitos de diferentes autores (Ankum, 1995). ASAE, de acordo com Burt e Plusquellec (1990), propõe: (i) controle convencional por montante; (ii) controle automático por montante; (iii) controle por jusante com canal em nível; (iv) controle por jusante com canal em desnível. ICID propõe para a operação do sistema de canais (Goussard, 1993): (i) controle por montante; (ii) controle por montante próximo; (iii) controle por montante distante. Já o Banco Mundial propõe para estratégias de controle (Plusquellec et alli, 1994): (i) controle proporcional; (ii) controle por cota de vazão ajustável; (iii) controle por montante; (iv) controle por jusante; (v) monitoramento remoto; (vi) controle remoto .

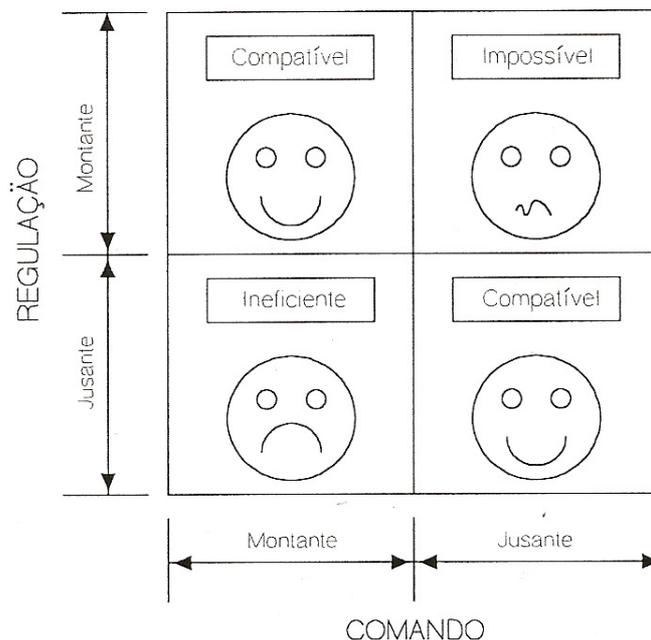


Figura 10 – Possibilidades de combinação entre regulação e comando (Rijo, 1993)

Aparentemente é mais prático adotar uma classificação baseada no nível de água que é mantido pela estrutura de regulação. Assim, há cinco métodos básicos de operação (Ankum, 1995):

- controle proporcional, em que a vazão de entrada é distribuída de acordo com partes predefinidas. Não há um nível constante de água em toda a extensão do canal;

- controle a montante, sendo um nível constante de água no lado de montante do regulador sendo o objetivo operacional. A vazão derivada para o sistema de distribuição pode ser alterada apenas após uma mudança intencional na vazão de entrada (a partir de um rio ou barragem) gerada pelo gestor do sistema, uma subsequente derivação na estrutura de repartição e após um certo espaço de tempo. Esse espaço de tempo é relacionado, de forma negativa, com o armazenamento dinâmico do canal.

- controle por jusante, também chamado de controle por jusante com canais em nível, sendo um nível constante de água do lado de jusante do regulador o objetivo operacional. O sistema de distribuição reage positivamente e pode prover imediatamente a vazão requerida de saída, pois a alteração do armazenamento dinâmico no canal é positiva. Bermas em nível são requeridas para este sistema. De acordo com Rijo e Arranja (2006) o controle local por jusante apresenta-se como muito eficiente e perdas operacionais nulas. O controle por jusante também pode ser realizado à distância, quando a comporta do início do trecho regulado é operada de acordo com a informação de nível que vem da comporta do fim do trecho, mas neste caso o comportamento da linha da água será semelhante ao do controle por montante.

- controle BIVAL, também denominado controle de volume constante, com a manutenção de um nível constante no meio do trecho do canal a montante. Não há um estoque dinâmico efetivo no canal. O controle BIVAL assemelha-se ao controle por jusante, respondendo imediatamente os requisitos de vazão. Entretanto, os taludes do canal podem ser mantidos em um nível baixo em parte do trecho, enquanto a telemetria e comportas eletromecânicas são necessárias;

- controle ELFLO, também denominado controle por jusante em canais inclinados, sendo um nível constante de água a jusante o objetivo a ser alcançado. Este

controle requer telemetria e comportas eletromecânicas. O controle ELFLO responde positivamente a mudanças de vazões de saída, como no controle por jusante e no controle BIVAL. Por outro lado, o canal sob controle ELFLO assemelha-se ao canal sob controle por montante, pois seus taludes são paralelos ao fundo e as mudanças na vazão de saída somente poderão ser atendidas após um certo espaço de tempo, porque há um estoque negativo no trecho do canal.

O controle local por montante é o mais utilizado em nível mundial nos sistemas de transporte e distribuição de água em canais (Rijo, 2002 apud Rijo, 2007). Isto acontece porque o dimensionamento dos canais pode ser otimizado, sendo possível projetar canais com uma seção transversal constante em todo o percurso de um trecho e com uma altura de água correspondente à altura do escoamento uniforme correspondente à vazão de projeto deste trecho, somando-se o bordo livre ou folga. Assim, as bermas do canal serão paralelas a esta linha da água na vazão máxima. Soma-se a isto o fato de que os equipamentos de controle das alturas de escoamento e das vazões podem ser mais simples. Contudo, este controle é exigente em mão de obra para operação e gestão, sobretudo quando os equipamentos de controle forem de atuação manual e existirem muitas tomadas de água. (Rijo et alli, 2007)

Plusquellec (1992) relata que sistemas concebidos para operar por controle por montante em países em desenvolvimento apresentavam, como situação típica, um grande número de comportas reguladoras, de operação manual ou motorizada, sem condições de funcionamento por falta de manutenção ou por vandalismo de irrigantes descontentes com o fornecimento de água. O autor coloca que este controle deve estar associado a uma programação de distribuição de água aos irrigantes, seja por calendário pré-definido ou por uma decisão do órgão central, baseada em informações de campo e no desenvolvimento das lavouras. Em qualquer dos casos, o controle por montante requer uma estimativa da eficiência da distribuição e da condução da água no sistema, de forma a definir a vazão que deve ingressar no canal principal.

Um sistema de regulação é composto por: a) algoritmo de regulação e b) arquitetura da rede de distribuição física, com determinadas características físicas dos canais e dos equipamentos de regulação (Rijo, 1993). Um algoritmo de regulação, ou algoritmo de

controle, é um procedimento lógico que processa informações tais como níveis da água nos canais e demandas de vazão por parte dos irrigantes, e resulta em ações de controle, como a abertura ou fechamento de comportas. O controle de redes simples pode ser realizado por operadores humanos, que são os cantoneiros e os canaleiros, sendo os primeiros responsáveis pela ação dos últimos. Neste caso, embora exista apenas na mente do cantoneiro ou canaleiro, o algoritmo de controle pode ser bastante efetivo e flexível, dependendo de sua experiência.

Em redes mais complexas, desde a fase de projeto ou em um processo de modernização, a tendência tem sido a implantação de sistemas de controle baseados em comportas eletromecânicas e sensores eletrônicos de nível e vazão, distribuídos ao longo da rede. Neste caso o algoritmo de controle é executado em um sistema eletrônico, em geral central, para o qual convergem as informações coletadas pelos sensores, e do qual partem as decisões sobre as ações a serem executadas em cada comporta ou regulador. Diferentes algoritmos de controle, com grande flexibilidade e eficiência, têm sido desenvolvidos para este tipo de sistema (Rogers e Goussard, 1998).

Saenz e de León Mojarro (1992) colocam que no distrito de irrigação mexicano de *La Begoña*, as funções de vazão das comportas foram extraviadas e os operadores adotavam uma função simples de número de roscas do parafuso da comporta em relação a uma vazão pretendida. As medições a campo mostraram que os canaleiros sempre subestimavam a vazão na ordem de 10 a 15%.

A seleção do método de operação mais apropriado para um sistema de distribuição para irrigação, como proporcional, montante ou jusante é bastante complexo. Além disto, as consequências do método de operação selecionado não são muitas vezes bem entendidas. Então, a seleção é usualmente baseada na experiência passada. Um processo sistemático de seleção é recomendado, sendo composto por passos iterativos:

- O objetivo operacional do sistema de distribuição deve ser definido primeiro;
- Seleciona-se inicialmente um método de operação seguindo o objetivo operacional, que será discutido posteriormente;

Certas características do método do controle são, então, determinadas pela seleção inicial, como o desempenho hidrodinâmico, o projeto e os aspectos construtivos, as necessidades operacionais e de manutenção, entre outras. A avaliação deste conjunto de informações terá que dizer se o método de operação selecionado é aceitável. Se não, o objetivo operacional original para o sistema de distribuição será revisado, e um outro método de operação deverá ser seguido.

O objetivo operacional de um sistema de distribuição é especificado por três fatores fundamentais:

- o processo de decisão sobre a entrega de água nos canais terciários, isto é, quem decide sobre a distribuição de água nos canais terciários;
- o método de distribuição de água nos canais terciários, ou como a água é distribuída no canal terciário;
- o método de distribuição de água adotado no sistema principal, ou como a água será distribuída por meio do sistema principal de canais.

Replogle (1992) afirma que o controle por montante é o mais comum em sistemas de irrigação, sendo que a operação das estruturas de controle, usualmente comportas, pode ser manual ou automática ou controlada remotamente. A operação desta estrutura deveria ser realizada a cada irrigação, mas o comum é a fixação de diversas aberturas e ir ajustando o nível no canal. A dificuldade hidráulica deste processo é a tentativa de estabelecer o mesmo nível de água no canal para diferentes vazões.

Na prática, os métodos ativos de operação de um canal podem ser entendidos como um conjunto de comporta, normalmente vertical, e vertedores adjacentes a esta comporta. Segundo o autor, as possibilidades de operação são:

- Fluxo sobre os vertedores – canais laterais são construídos de forma que a receber a vazão que passa sobre os vertedores por uma ação imposta por uma comporta, normalmente vertical. Os vertedores podem ser em labirinto, laterais, oblíquos ou bico de pato. A vantagem deste método é poder atender a variações da demanda a jusante gerando pequenas variações na altura de carga sobre o vertedor;

- Operação muitos centímetros abaixo do nível da crista dos vertedores – manutenção de um volume dentro do trecho regulado do canal, buscando um nível constante. É um método adequado para controle automático ou remoto, mas pode exigir muito dos operadores de um sistema manual;
- Operação com nível da água próximo à crista do vertedor – o objetivo deste método é mostrar ao operador de forma rápida uma mudança na vazão, permitindo realizar pequenos ajustes na comporta. Exige muitas operações de comporta para compensar as alterações de vazão, mas não permite um rápido esvaziamento do canal;
- Híbrido – este método busca a manutenção de um nível nos trechos regulados onde há tomadas de água ativas com o fluxo sobre comportas ou vertedores nos trechos sem demanda.

Existem métodos passivos de controle, que incluem reservatórios, vertedores laterais, canais de grande declividade, e orifícios submetidos a grandes cargas. Estes arranjos ajudam a estabilizar a vazão no canal, permitindo uma entrega mais uniforme aos irrigantes, mas algumas situações podem apresentar problemas com aportes de sedimento.

O processo de decisão no sistema de distribuição de água no canal terciário deve ser definido primeiro. Três opções são possíveis: entrega ditada (programada), na qual os irrigantes não opinam sobre a distribuição de água; alternativamente, os irrigantes podem requerer uma mudança no sistema de distribuição, que será efetivada após endosso do centro de distribuição de água e após algum tempo (distribuição programada); na terceira opção, os próprios usuários são que decidem pela distribuição de água, que será entregue imediatamente ou após um tempo determinado (distribuição por demanda)

Também há três opções do processo de distribuição aos canais terciários. O processo tradicional de distribuição é o de *vazão repartida*, onde o fluxo é disponibilizado igualmente por todo o sistema por estruturas proporcionais. O segundo método, *vazão intermitente*, é frequentemente aplicado em esquemas de cultivos de sequeiro, onde uma vazão unitária é aplicada entre áreas individuais, de forma rotativa. A escolha de um sistema intermitente não diz respeito a como o processo de decisão sobre a distribuição será escolhido. O terceiro método de distribuição é o de *vazão ajustável*, usualmente aplicado a áreas de arroz irrigado, onde picos de vazão são requeridos, como na fase de preparação da

terra e as descargas são gradualmente reduzidas durante o período de irrigação fora de ponta.

O processo de distribuição em um sistema de canais pode também ser baseado na vazão repartida, vazão intermitente ou vazão ajustável, assim como vazão rotativa pode ser aplicada quando os canais secundários são supridos de forma intermitente por um sistema de rotação de vazão no canal principal.

Assim, é óbvio que somente poucas opções de programação de distribuição podem ser combinadas com um objetivo operacional, de acordo com a figura 11.

A lógica de seleção para o método de operação segue o objetivo pretendido:

- O método de operação por demanda é compatível com controle proporcional ou controle por montante. Controle proporcional requer unicamente estruturas que distribuam a vazão proporcional em razões fixas. Controle por montante é mais adequado para vazões intermitentes e vazões ajustáveis nos canais terciários.

- O método de operação por demanda programada é adequado para controle por montante com gerenciamento centralizado. Controle por jusante, BIVAL e ELFLO também podem operar na base da vazão de demanda programada quando a água disponível é insuficiente para atender as necessidades. Então, a requisição de água para unidades individuais será confirmada primeiramente comparando com a disponibilidade de água, e a distribuição real ocorrerá somente após o endosso da agência de operação e manutenção. Portanto, um tempo de ajuste é introduzido no sistema.

- O método de operação por solicitação de demanda pode ter uma resposta positiva. O controle por jusante e o BIVAL respondem estas requisições de vazão imediatamente. Uma operação alternativa interessante pode ser o controle ELFLO, que também pode responder positivamente, mas irá exigir um intervalo de tempo para o ajuste do volume de espera dinâmico do canal.

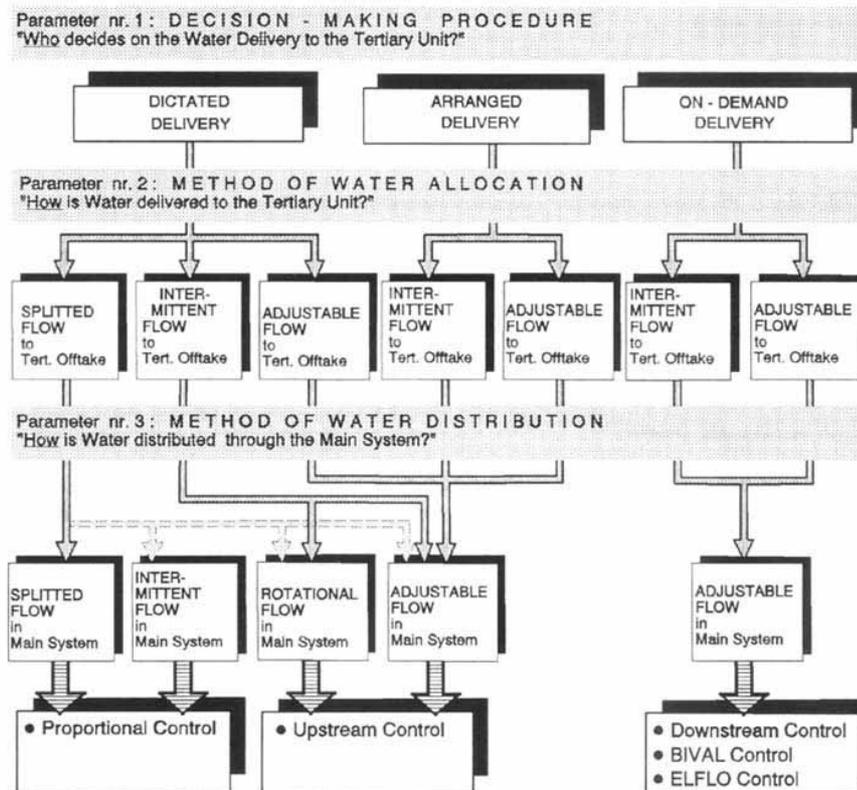


Figura 11 – Seleção do processo de operação de canal de irrigação (Ankum, 1996)

Também é possível utilizar diferentes métodos em um mesmo projeto, como um controle composto, onde as comportas são reguladas normalmente por um controle de jusante, mas podem trocar para um controle por montante sob certas condições (Goussard, 1993). Além disto, isto é frequentemente muito efetivo utilizar diferentes métodos de operação para diferentes locais do sistema principal, por exemplo, controle de jusante nos canais primários de irrigação com controle por montante nos canais secundários.

O termo sistema de gerenciamento de entrega refere-se ao gerenciamento de um sistema de entrega de água como um conjunto, que deve combinar a descarga de saída com a vazão de entrada. O manejo do sistema principal pode ser (Ankum, 1995):

- sem sistema de gerenciamento (ou dia-a-dia), quando a regulação das estruturas não é possível e/ou requerida. Isto é aplicado em sistemas de distribuição sob um controle proporcional para a divisão de vazões; com um controle por montante com uma regra fixa para a distribuição de água durante toda a época de irrigação;

- sistema de gerenciamento central, quando uma central de operação de água tem que compatibilizar a vazão de entrada no sistema com a vazão requerida pelo esquema de distribuição. É aplicado em sistemas controlados por montante;

- sistema de gerenciamento responsivo, quando o sistema de entrega se ajusta por si mesmo para mudanças de vazão de saída. É uma característica dos sistemas de controle por jusante, BIVAL e ELFLO.

Muitas combinações podem ser definidas a partir do nível de decisão (controle) e do tipo de distribuição, conforme Rijo (1993) apresenta em forma de Tabela. Observa-se que nem todos os métodos de distribuição são compatíveis com os diferentes níveis de tomada de decisão. Desta forma, ao selecionar-se um método de distribuição e um nível de decisão na concepção do projeto do sistema de distribuição, indiretamente também se definem as possibilidades de variação da frequência, vazão e duração da entrega da água ao irrigante.

Tabela 12 – Métodos de distribuição e modos de controle e sua influência nas variáveis de operação do sistema de canais (Rijo, 1993)

Categoria	Frequência (F)	Vazão (Q)	Duração (D)
<b>Controle local</b>			
• Pedido	I	I	I
• Pedido com Q limitada	I	L	I
• Pedido com F acordada	A	L	I
<b>Controle intermediário</b>			
• Acordo prévio	A	A	A
• Acordo prévio com Q limitada	A	L	A
• Acordo prévio com volume constante	A	C	C
• D imposta com Q constante	A	C	F
• Acordo prévio com Q imposta	A	F	C
<b>Controle central</b>			
• Sistema central	V	V	V
• Volume imposto	V	F	F
• Rotação	F	F	F
• Rotação com Q contínua	--	F(V)	--
• Rotação com volume variável	F	F(V)	F(V)
• Rotação com Q imposta e calendário variável	F(V)	F	F(V)

Legenda: I – sem restrições; L – limitado a um máximo, mas até este valor pode ser acordado; A – acordado entre o irrigante e o responsável; C – acordado entre o irrigante e o responsável para toda a campanha (constante); F – fixado ou imposto pelo responsável, por toda a campanha; V – variável ao longo da campanha (critério do responsável); (V) – variável ao longo da campanha ou de campanha para campanha (critério do responsável)

#### 4.4. Sistemas de distribuição por canais não revestidos

O escoamento em condutos à superfície livre apresenta particularidades que o tornam mais complexo do que o escoamento em tubulações. A determinação da vazão de um canal não pode ser realizada, a não ser em casos concretos de escoamentos permanentes e uniformes, a partir da determinação de suas características físicas e geométricas.

O escoamento da água em canais de irrigação classifica-se, na maior parte dos casos reais, como um escoamento turbulento, em que cada partícula apresenta, além da velocidade no sentido do escoamento, velocidades transversais ao escoamento, devidas ao movimento de agitação.

O escoamento turbulento pode apresentar-se nas seguintes condições (Rijo 1993):

- escoamento permanente– no qual a vazão é constante e a velocidade em um ponto é função das coordenadas, mas independente do instante de tempo considerado, isto é, a velocidade varia de um ponto a outro, mas, em cada ponto, mantém-se constante ao longo do tempo, o que se traduz pela condição:

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} = 0 \quad 4.33$$

que significa que a aceleração do escoamento é nula neste ponto. No caso dos escoamentos turbulentos, esta condição só tem sentido em relação à **velocidade média** do escoamento; logo,  $\bar{V}$  é o vetor velocidade média na seção líquida e  $t$  é o tempo;

- o escoamento uniforme (ou escoamento em regime uniforme) é um caso particular do escoamento permanente, em que a velocidade média não varia de seção para seção. Considerando  $x$  a direção predominante do escoamento, este escoamento pode ser traduzido por:

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial x} = 0 \quad 4.34$$

A constância da velocidade, nos componentes módulo, direção e sentido, tem como consequência que as áreas das seções líquidas transversais também sejam constantes, pela

Equação da Continuidade, e, portanto, a linha da superfície livre será paralela ao fundo do canal. A profundidade do escoamento uniforme designa-se, habitualmente, por profundidade normal.

O regime uniforme raramente se observa em canais de irrigação, podendo ser verificados em trechos retilíneos de grande comprimento e de rugosidade constante, que praticamente não existem. Devido à presença de estruturas de regulação, obstáculos transversais ao canal ou curvas, o escoamento observado normalmente é o permanente gradualmente variado. Heras (1981) coloca que

*é realmente pouco frequente que seja preciso estudar regimes variáveis nas redes de irrigação, já que, salvo falsas manobras nas comportas e o fenômeno de enchimento, se produzirão ondas semelhantes às das enchentes e a variação de vazão em uma mesma seção será muito gradual e completamente controlada; a prática usual consiste em estudar, simplesmente, o que ocorre quando o regime está estabilizado e é uniforme para uma nova vazão, desprezando os fenômenos inerentes aos estados intermediários.*

Estritamente, este escoamento só ocorre em canais de taludes paralelos. Para o escoamento subcrítico, que é o observado normalmente nos canais de irrigação não revestidos, é necessário a existência de trechos de grande extensão sem interferências a jusante para que essa situação adequada à medição seja observada. Na prática, muitas situações de cursos d'água natural e de canais se aproximam deste regime, mesmo que em pequenos intervalos de tempo.

Os princípios que governam a relação entre profundidade, inclinação do fundo e vazão para o escoamento uniforme dependem inteiramente da energia dissipada.

Para um canal que apresente:

- Escoamento estacionário, com vazão local invariável;
- Escoamento unidirecional, com distribuição uniforme das velocidades e repartição hidrostática das pressões;
- Eixo retilíneo;
- Geometria prismática, sendo a seção molhada uma função da profundidade;

- Pendente constante e não muito grande ( $I < 10\%$ ); e
- Características de rugosidade constantes

existe um escoamento que se desenvolve em profundidade constante, denominada de profundidade normal  $y_N$ . Neste escoamento, as perdas de carga são devidas à rugosidade.

Utilizando a profundidade normal pode-se até encontrar uma estimativa da vazão, com um erro inferior a 5% (Sinniger e Hager, 1989), com o uso de relações como a apresentada a seguir, válida para  $y_N/b < 0.2$  e  $m > 3$ :

$$y_N = \left[ q_N^{-3/5} + m - \frac{4}{5} \sqrt{1+m^2} \right]^{-1} \quad 4.35$$

Onde  $q_N$  é a vazão específica normal e  $m$  é a inclinação dos taludes em relação à profundidade.

O problema colocado para canais em terra é a variação das características de rugosidade, da pendente e da geometria ao longo do tempo, uma vez que escorregamentos de taludes, crescimento de ervas invasoras nos taludes e no fundo e processos erosivos alteram estas condições.

De Buffon (1861) coloca que a utilização de equações que considerem o movimento como uniforme esbarra na observação da realidade destas estruturas, apontando dois problemas básicos: (1) os elementos geométricos do canal modificam-se com o tempo e (2) as equações apresentam elementos de difícil mensuração. Como exemplo, coloca a definição da pendente do canal, onde um erro de milímetros entre duas seções afastadas de poucas centenas de metros, mudaria completamente o comportamento esperado do canal.

O escoamento permanente gradualmente variado apresenta vazão constante, mas a velocidade média varia de seção para seção, segundo a condição

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \neq 0 \quad 4.36$$

Assim, a profundidade do escoamento varia ( $\frac{\partial y}{\partial x} \neq 0$ ), mas esta variação ocorre de forma gradual, com a curvatura das trajetórias – definida como o lugar geométrico dos pontos ocupados por uma partícula ao longo do tempo – assumindo um valor pequeno. Como normalmente os canais de irrigação apresentam baixas declividades, a montante das estruturas de regulação ou em cada trecho de canal regulado, o escoamento é normalmente gradualmente retardado ( $\frac{\partial y}{\partial x} > 0$ ), com a profundidade na seção de jusante, junto à estrutura de regulação, maior do que a da seção de montante, gerando uma curva de remanso do tipo **M1**. Nesta situação, a profundidade normal será maior do que a profundidade crítica e há o crescimento da profundidade em relação ao desenvolvimento do canal. A curva da linha da água é assintótica à horizontal e à profundidade normal.

Para um canal sem estruturas de regulação e com base constante, a profundidade do escoamento seria uma função biunívoca da vazão, do tipo potência. Para as pequenas vazões, a profundidade seria muito pequena, o que impediria a alimentação das tomadas de água, que normalmente ficam nas laterais dos canais e em cotas mais elevadas do que o fundo. Com as estruturas de regulação, impõem-se uma variação pequena da profundidade, o que faz com que as alturas de carga sobre as tomadas também não variem muito, de modo a que as variações das vazões entregues a cada parcela não ultrapassem valores de referência estabelecidos pelo projeto ou entre o irrigante e o operador do sistema. Com a presença de reguladores as profundidades são, quase sempre, superiores às profundidades normais e as suas variações são bastante reduzidas.

A figura 12 apresenta a variação da profundidade sem e com as estruturas de regulação, mostrando a variação da profundidade entre a situação de vazão nula e a vazão máxima.

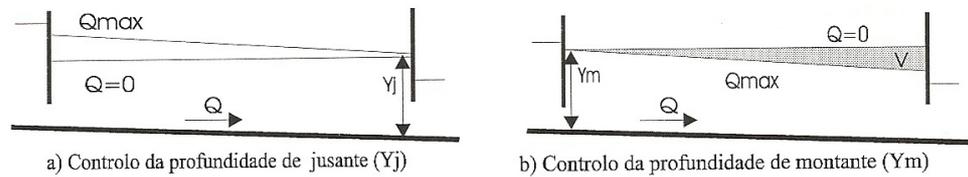


Figura 12 – Variação da profundidade em canais para as situações de vazão máxima e vazão nula, de acordo com a lógica de controle (Rijo, 1997)

No escoamento variável a velocidade em um ponto é função das coordenadas do ponto e do instante considerado, isto é, em cada ponto as velocidades das partículas que passam por ele variam de instante para instante. É o caso mais geral de escoamento, sendo traduzido por

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \neq 0 \quad 4.37$$

O escoamento variável que habitualmente ocorre nos canais de irrigação é o gradualmente variável, isto é, as variações de velocidade e das profundidades ocorrem de maneira gradual, correspondendo a soluções matemáticas contínuas. Ocorre, quase sempre, entre dois regimes permanentes, sendo um inicial e um final, recebendo a designação de regime transitório. A manobra de uma comporta provoca uma variação de vazão à qual correspondem variações de profundidades, conforme a figura 13.

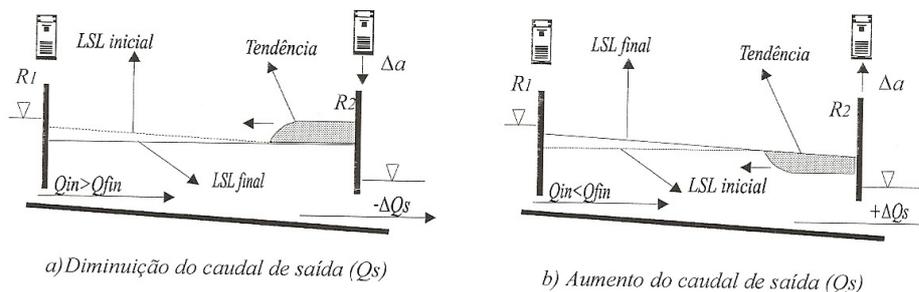


Figura 13 – Variação de nível em canal de acordo com manobras das estruturas transversais (Rijo, 1997)

No caso (a), um incremento no fechamento da comporta ( $\Delta a$  negativo) gera a formação de uma onda de translação positiva para montante e de outra negativa para jusante. A frente da onda, à medida que avança, vai-se atenuando, devido às forças de resistência ao escoamento, deslocando-se a uma velocidade  $V'$ , em relação ao canal, que é uma função da geometria do mesmo, sendo relacionada com a velocidade média pela expressão

$$V' = V \pm c \quad 4.38$$

Onde  $c$  é a celeridade da onda ou a sua velocidade relativamente ao escoamento, sendo calculada por:

$$c = \sqrt{g \bar{y}} \quad 4.39$$

onde  $\bar{y} = A/B$  é a profundidade média do escoamento, definida pela relação entre a área da seção líquida transversal ( $A$ ) e a largura superficial da mesma ( $B$ ). O sinal positivo refere-se às ondas que se deslocam para jusante, no mesmo sentido do escoamento, e o sinal negativo refere-se às ondas que se deslocam para montante.

A velocidade da onda é um dos parâmetros mais importantes para determinar o tempo decorrido entre a operação de uma estrutura de regulação e a chegada da perturbação em outros pontos de interesse, como as tomadas parcelares. Considerando-se dois pontos afastados de uma distância  $L$ , este tempo será definido por  $t_1 = \frac{L}{V_1}$ .

4.40

Este tempo significa a chegada da frente da onda ao segundo ponto. No caso de um aumento de vazão, a vazão começa a aumentar a partir deste tempo, mas um novo regime permanente só será estabelecido depois de decorrido um período de tempo suplementar, designado por tempo de resposta, que é o intervalo de tempo que realmente interessa à gestão, pois só nesta nova situação é possível atender às tomadas de forma estável. Os tempos de resposta dependem dos volumes armazenados no sistema de canais e da variação imposta pela operação da estrutura de regulação. Os volumes armazenados, por sua vez, dependem do espaçamento entre estas estruturas, ou seja, do comprimento do trecho regulado. Se o espaçamento for grande, o volume de água envolvido numa passagem de

uma vazão  $Q_a$  para uma vazão  $Q_b$  é elevado, uma vez que o remanso provocado por um regulador ( $R_2$ , na figura) só é sentido em um pequeno comprimento do trecho. As linhas de superfície livre, correspondentes às situações com  $Q_a$  e com  $Q_b$ , são praticamente paralelas e o volume compreendido entre elas será praticamente prismático. Colocando-se reguladores intermediários, os volumes envolvidos diminuem e os efeitos de remanso passam a ser observados em uma maior extensão do canal e o volume em transição passa ter uma forma de cunha. Pode-se dizer, segundo Rijo (1993) que, de forma aproximada e inicial, que a duplicação do número de estruturas de regulação diminui pela metade o volume em jogo no caso da passagem de um regime permanente a outro. O tempo de resposta  $t_r$  do sistema entre dois pontos pode ser aproximado por:

$$t_r = \frac{\Delta v}{\Delta Q} , \quad 4.41$$

em que  $\Delta v$  e  $\Delta Q$  são, respectivamente, a variação de volume e a variação de vazão observadas com a passagem do regime permanente inicial ao regime permanente final.

Ainda segundo Rijo (1993), pode-se dizer que as mudanças de regime necessárias à gestão diária dos canais far-se-ão tão mais rapidamente quanto mais se reduzir o espaçamento entre os reguladores ou quanto mais se reduzirem as variações necessárias do volume de água. Dito de outra forma (Rijo e Betâmio de Almeida, 1996), os tempos de resposta tendem a ser menores quando existirem estruturas reguladoras, o que faz com que o canal ganhe em flexibilidade. A capacidade de resposta às variações de demanda aumenta substancialmente com os reguladores, principalmente com o uso de comportas automáticas.

Os canais em terra apresentam as seguintes vantagens e desvantagens:

- Vantagens
  - baixo custo de execução
  - a sua realização pode ser feita com mão de obra local
- Desvantagens
  - As perdas de água por infiltração através das paredes e do fundo;
  - A erosão dos perfis mesmo para velocidades muito baixas

- O ravinamento realizado pelas águas da chuva ou pela passagem de animais;
- Os trabalhos de manutenção importantes e permanentes – controle de ervas invasoras, desassoreamento e manutenção do perfil transversal;
- A limitação de sua construção em terrenos muito arenosos

Portanto, os canais de terra são normalmente encontrados onde a água é abundante ou quando a rentabilidade marginal impõe equipamentos de baixo custo.

Gurovich (2001) coloca que a medição de vazão se constitui em um problema difícil em muitas zonas de irrigação, pois:

- A altura disponível nos disponíveis de um sistema de irrigação pode ser demasiadamente pequena para permitir a realização de uma medição exata;
- As necessidades variáveis de água nas áreas irrigadas e as variações da distribuição de água resultam em flutuações nos níveis de água dos canais, em alterações da velocidade do escoamento ou ambas mudanças ao mesmo tempo;
- A presença de ervas invasoras, a deposição de sedimentos, a dificuldade de manter uma precisão adequada na construção dos canais ou na manutenção dos mesmos são elementos que podem reduzir a exatidão das medições de vazão.

Desta forma, estimar a vazão em um canal de terra de grande desenvolvimento a partir de medições das dimensões da seção e estimativa da declividade pode resultar em erros consideráveis, até por conta das perdas.

Para canais não revestidos, as perdas por infiltração levarão a uma redução da vazão transportada nestes trechos de grande extensão, levando a inclusão de mais uma fonte de erro, que se somará aos erros de leitura, efeito do vento, alteração da rugosidade e da seção de escoamento, entre outros.

De acordo com SOCIÉTÉ (1976), as perdas de água por infiltração nos canais de terra podem ser estimadas por:

- $q = cLPR^{1/2}$  - fórmula de Molesworth e Yennidumia aplicada no Egito, onde q representa as perdas por infiltração e evaporação, em m<sup>3</sup>/s; L, comprimento do canal em km; P, perímetro molhado em m; R, raio hidráulico, em m; c, coeficiente que depende da natureza e da temperatura do solo, sendo c = 0.0015 para argila e c = 0.0030 para areia; 4.42

- $S = 0.2C\sqrt{\frac{Q}{V}}$ , fórmula de Moritz (USBR), onde S são as perdas por infiltração em ft<sup>3</sup>/s por milha de comprimento de canal; Q é a vazão em ft<sup>3</sup>/s; V é a velocidade do escoamento em ft/s; C é uma constante dependente do tipo de solo que varia entre 0,34 (cascalho cimentado e solos franco arenosos endurecidos) e 2,20 (solos arenosos com materiais grosseiros). 4.43

- Em unidades do Sistema Internacional, a expressão é apresentada como  $S = 0.000108C\sqrt{\frac{Q}{V}}$ , para Q em m<sup>3</sup>/s, V em m/s e S em m<sup>3</sup> por km de canal 4.44

- $S = s\frac{QL}{100}$ , fórmula de Offengenden, sendo S as perdas de água por km de comprimento do canal, em %; L o comprimento do canal, em km; Q, a vazão, em m<sup>3</sup>/s; s calculado pela fórmula  $s = \frac{A}{Q^m}$ , em que A e m são constantes empíricas que dependem da permeabilidade do solo; 4.45

As perdas de água também podem ser estimadas a partir de expressão  $q = 20 * \sqrt{A}$ , sendo q a perda em l/s para cada km do canal e A a área da seção transversal em m<sup>2</sup>, para solos arenosos (Espanha, 1963). 4.46

De acordo com Tiercelin (1998) as perdas por infiltração em canais de terra são da ordem de 0,09 m<sup>3</sup>/dia.m<sup>2</sup> para solos argilosos; 0,18 m<sup>3</sup>/dia.m<sup>2</sup> para solos argilo-siltosos e 0,5 m<sup>3</sup>/dia.m<sup>2</sup> para os solos arenosos. As perdas por infiltração em canais não revestidos são importantes na adoção da rotação. A infiltração e a evaporação direta decrescem com o aumento de vazão, sendo que, segundo Mayer (1945) são da ordem de 16% da vazão por quilômetro, quando a vazão é menor do que 0,030 m<sup>3</sup>/s, reduzindo-se para menos de 1%

quando a vazão supera os 6 m<sup>3</sup>/s. Poiree e Ollier apresentam as perdas em canais não revestidos de forma distinta, relacionando o volume perdido com a área das paredes em contato com a água, como apresentado na Tabela 13.

Os valores citados pelos autores não são contraditórios, pois, em um mesmo canal, para vazões menores esperam-se perímetros molhados relativamente maiores, já que dificilmente consegue-se adotar seções de máxima eficiência hidráulica em canais construídos para pequenas vazões. Isto se deve ao fato de que a dimensão da base do canal deve ser adequada à dimensão do equipamento disponível para sua construção.

Tabela 13 – Perdas de água em canais não revestidos Poiree e Ollier (1963)

Natureza do terreno	Perdas em 24 horas, em m <sup>3</sup> , para cada m <sup>2</sup> de parede molhada
Argila impermeável	0,09
Argilo-siltoso	0,18
Argilo-arenoso	0,20 a 0,40
Arenoso	0,50
Arenoso (aluvião)	0,75
Cascalho permeável	1,00 a 1,80

As perdas por evaporação, segundo Poiree e Ollier, têm, em geral, pouca importância em relação às perdas por infiltração. São estimadas como sendo iguais a, no máximo, 10% destas, podendo-se adotar valores entre 2 e 5% como referenciais. Por isso, muitas vezes são desprezadas. No total, as perdas de água nos canais situam-se entre 5 a 40%, utilizando-se para anteprojetos valores entre 10 e 20%. Todas as equações falham em não prever o efeito da colmatção resultante dos limos transportados pela água de irrigação, fenômeno de expressiva importância em Portugal. De acordo com informações dos canaleiros responsáveis pela operação do perímetro do Vale do Sado, a presença de limos nas paredes dos canais já levou a situações em que a vazão máxima transportada era equivalente a 30% da vazão de projeto do canal, além de inúmeras situações de desabastecimento e perdas por vertimento lateral dos canais de distribuição. O controle dos

limos é realizado com o uso de grelhas e limpa-grelhas automáticos e limpeza manual e mecânica dos taludes dos canais.

#### 4.5. Eficiência da irrigação

*L'irrigation est l'art d'obtenir de la terre, par un bon emploi des eaux, des produits plus abondants, plus variés, et surtout plus réguliers que ceux auxquels on peut prétendre par la culture ordinaire. Son but est d'augmenter les facultés productives du sol par l'emploi d'un agent naturel. Elle est donc la plus réelle, la plus permanente des améliorations que réclame l'agriculture.*

*L'irrigation es un art; car sa pratique consiste dans une suite d'opérations dont le succès dépend beaucoup du plus ou moins d'intelligence, du plus ou moins d'habileté qu'on y apporte. L'irrigation est une science; car soit qu'on veuille envisage à fond le rôle qu'elle joue dans l'économie végétale, soit qu'on veuille s'assurer des moyens de la pratiquer, avec ordre et économie, par une exacte distribution des eaux, on est ainsi conduit, d'une part, jusqu'aux considérations théoriques les plus délicates, le plus inexplorées, de la chimie agricole; de l'autre, jusqu'aux problèmes le plus ardu de l'hydraulique. Il en est ainsi peut-être de beaucoup d'autres opérations a alogues; toutes ont du moins leur théorie et leur pratique. Mais ici le théorie et la pratique, ou, en d'autres termes, la science et l'art, se trouvent plus étroitement unis que partout ailleurs; et les découvertes progressives de la science n'ont été nulle part aussi immédiatement mises à profit.*

De Buffon, 1861.

O manejo racional da irrigação consistiria na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto. Segundo Lima et alli (1999), por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico. As eficiências médias para cada sistema de irrigação indicadas neste estudo são apresentadas na Tabela 15 a seguir. *A eficiência de irrigação pode ser definida como a relação entre a quantidade de água requerida pela cultura e a quantidade total aplicada pelo sistema para suprir essa necessidade. Quanto menores as perdas de água devido ao escoamento superficial, evaporação, deriva e drenagem profunda, maior será a eficiência de irrigação de um sistema.* (Lima et alli, 1999)

Hagan et alli (1974) fazem uma outra proposta para a definição da eficiência, ao somar os volumes necessários para atender a evapotranspiração com o necessário para manter uma concentração salina favorável no perfil do solo agrícola.

Além disto, dividem a eficiência em três parcelas:

- Eficiência do armazenamento da água: razão entre o volume de água entregue pelo reservatório para a irrigação e o volume recebido pelo reservatório, superficial ou sub-superficialmente;
- Eficiência de distribuição: razão entre o volume de água entregue pelo sistema de distribuição e o volume entregue pelo reservatório a este sistema;
- Eficiência de aplicação: razão entre a água utilizada para compensar a evapotranspiração em uma determinada área mais o necessário para manter o teor de sais da solução do solo em um nível adequado e o volume recebido do sistema de distribuição.

Tabela 14: Eficiência e consumo de energia de diferentes métodos de irrigação.

<b>Método de Irrigação</b>	<b>Eficiência de Irrigação (%)</b>	<b>Uso de Energia (kWh/m<sup>3</sup>)</b>
por superfície	40 a 75	0,03 a 0,3
por aspersão	60 a 85	0,2 a 0,6
Localizada	80 a 95	0,1 a 0,4

Fonte: Marouelli, W.A. e Silva, W.L.C., 1998, citados por Lima et alli (1999).

Albuquerque e Durães (2008) colocam que a eficiência na irrigação é a relação entre a água útil e a água bruta, sendo que a eficiência de irrigação é dividida em três parcelas: condução, distribuição e aplicação. A condução diz respeito à trajetória da água desde a fonte até sua entrada na área a ser irrigada. No caso de uma condução por gravidade, seria o percurso dos canais principal e secundário. A distribuição refere-se à circulação da água dentro do projeto, ou seja, aos canais terciários e quaternários. A aplicação é relacionada com a parcela manejada pelo irrigante. (ver expressão 4.22)

A relação básica que controla a aplicação de água sob diferentes técnicas é função da resposta de uma cultura específica ao fornecimento de água, que relaciona a produção obtida com os níveis de água armazenados no solo e facilmente disponíveis para as plantas em cada evento de rega e ao longo de toda a temporada de irrigação. A função de produção proposta por Doorembos e Kassam (1979) é a seguinte:

$$\left[ 1 - \frac{P_R}{P_M} \right] = K_y \times \left[ 1 - \frac{ET_{REAL}}{ET_{MÁXIMA}} \right] \quad 4.47$$

sendo  $P_R$  a produção real, em kg/hectare;  $P_M$  a produção máxima, em kg/hectare;  $K_y$  o coeficiente de estresse hídrico;  $ET_{REAL}$  a evapotranspiração real da cultura, em mm/safra;  $ET_{MÁXIMA}$  a evapotranspiração máxima da cultura, em mm/safra.

Substituindo-se o valor de  $P_R$  pelos preços ou custos, a função de resposta fornecerá valores monetários para o atendimento ou não das necessidades hídricas das culturas irrigadas. As propriedades da função de resposta sugerem que tecnologias que impliquem em custos efetivos da água maiores utilizarão uma irrigação mais eficiente e os investimentos em irrigação terão rentabilidades mais elevadas. Por esta razão, para valores da água muito baixos, o uso de tecnologias tradicionais trará uma rentabilidade mais elevada do que a obtida com tecnologias mais modernas. No entanto, cada situação tem condições edafoclimáticas que levam a custos de água críticos, acima dos quais os outros insumos requeridos vão exigir uma irrigação mais eficiente, para que atinja a rentabilidade esperada para a totalidade dos investimentos realizados. Estes custos críticos diminuem com a qualidade do terreno, segundo o conceito de Gurovich (2001): solos de baixa qualidade são os arenosos, os com uma pendente abrupta ou os argilosos; solos de alta qualidade são representados pelos de textura franco-arenosa a franco-argilosa e terrenos planos, que resultam em características de infiltração e retenção de água mais favoráveis.

Os níveis de água armazenada no solo estão associados com a forma de aplicação de água no campo. As diferentes tecnologias de irrigação têm níveis diferentes de eficiência de rega, assim como diferentes requerimentos de capital e energia e, por tanto, o custo efetivo da água também é diferente.

A maximização do benefício associado às tecnologias de irrigação tem dois resultados possíveis (Gurovich, 2001):

a) As tecnologias modernas deverão ser selecionadas para situações com custos da água e da produção relativamente elevados e onde a qualidade do terreno é baixa, pois incrementam a rentabilidade, aumentam a produção e melhoram a eficiência do uso da água; e

b) Nas áreas com terrenos planos e solos de alta qualidade e com água de baixo custo, disponível em grandes volumes, pode-se utilizar tecnologias de irrigação tradicionais, com melhor relação custo/benefício para o irrigante.

Em Portugal, a eficiência de utilização da água na agricultura é de cerca de 58% (PORTUGAL, 2001), sendo proposto um valor referencial a ser alcançado de 66% em um período de 10 anos. Este aumento de eficiência significaria uma poupança para a sociedade portuguesa de € 65 milhões/ano.

Testezlaf et alli (2002) colocam que o uso da irrigação na produção agrícola tem sofrido sérias críticas ultimamente, sobretudo por aqueles que a consideram uma das grandes responsáveis pelo problema de escassez de água e de energia no país. Ao defenderem a irrigação a partir de seus impactos sociais, econômicos e em relação à segurança alimentar, alertam para as possíveis consequências do domínio de uma única visão radical entre planejadores e legisladores, que poderão ser profundamente prejudiciais à população, por serem potencialmente negativos à produção rural e ao desenvolvimento agrícola no Brasil. Os autores ponderam que *a evolução da irrigação nos últimos anos introduziu uma série de inovações tecnológicas que possibilitam aos equipamentos controlar de forma mais adequada e automatizada a aplicação da água. Isto se traduz em um processo mais eficiente, permitindo manejar de forma mais precisa as demandas hídricas das culturas, de forma a possibilitar, assim, aumentos importantes na qualidade e na quantidade dos produtos explorados. Utilizados corretamente, os novos sistemas de irrigação elevam os rendimentos, reduzindo ao mínimo as perdas, diminuindo a necessidade de drenagem e promovendo a integração da irrigação com outras operações simultâneas, como a adubação, o controle de pragas e doenças. O objetivo dos esforços de desenvolvimento tecnológico em curso, em relação às técnicas de irrigação, resume-se em disponibilizar métodos de fornecimento e controle de água que maximizem sua efetiva utilização pelas culturas, reduzindo perdas e aumentando a eficiência dos processos de condução, distribuição e aplicação de água, simultaneamente com a redução do consumo de energia; em última análise, o objetivo final a alcançar, de forma permanente, é a otimização da relação água captada/ produção de alimentos.*

Notadamente, pelos exemplos apresentados no texto, os autores referem-se à exploração agrícola em regiões áridas e semi-áridas.

De fato, a preocupação sobre o uso de água na irrigação no Brasil é mais destacada na região Nordeste (incluindo a região mineira do Polígono das Secas), pelas condições climáticas e pela existência de instituições federais de atuação estritamente regional, como a CODEVASF e o DNOCS. Dados da própria CODEVASF mostram que essa concentração de interesse no Nordeste ainda está mais vinculada a uma questão de oferta do que propriamente à gestão da demanda. A área irrigada no Brasil, em 2003, era de 3,15 milhões de hectares. A região Nordeste respondia por 21% deste total; a região Sul, por 39%. Do total da área irrigada, 33% referiam-se ao método de inundação, típico da lavoura orizícola (CODEVASF, 2004). Em 1999, o Rio Grande do Sul representava 34,8% da área irrigada nacional (Lima et alli, 1999). Assim, a região Sul apresenta mais necessidade de gestão da demanda do que as demais regiões brasileiras, o que não é atendido pelo arranjo institucional existente.

O Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2008), na apresentação do Programa Eficiência na Agricultura Irrigada, coloca que:

*Apesar da significativa contribuição da agricultura irrigada para o PIB do setor primário, o seu desempenho está, ainda, longe do ideal. As produtividades médias alcançadas, **a eficiência de utilização de água**, o emprego de insumos modernos, a capacitação da mão de obra, a integração dos projetos com as cadeias produtivas, dentre outros aspectos, são passíveis de melhoria substancial. Pode-se afirmar que, em boa parte da área irrigada, pratica-se uma agricultura tradicional, **decrecendo, substancialmente, os benefícios decorrentes da aplicação de água**. (...) A implementação do programa traduzir-se-á em uma **substancial redução do consumo agrícola de água**, economia de energia elétrica e geração de novos empregos, resultando no aumento da oferta de alimentos a custos inferiores aos atuais. A liberação de água e energia elétrica para o mesmo uso ou para outros, aliada a elevação do rendimento dos fatores de produção, resultarão em crescimento econômico.*

Arrojo (2000) coloca que a política de implantação da infra-estrutura de irrigação na Espanha gerou uma filosofia de atendimento de demandas a custos quase nulos,

especialmente nos projetos de irrigação com água superficial. Estes projetos apresentam elevado nível de ineficiência técnica e econômica, com uma eficiência global estimada em 40%. A manutenção desta política gerou uma quebra dos princípios de racionalidade e rentabilidade econômica, no qual novos projetos de irrigação são considerados atrativos por um deformado conceito de interesse público, nos quais os custos marginais crescentes reduzem os benefícios marginais esperados.

Como práticas para elevar a eficiência da irrigação de uma cultura qualquer, Hagan et alli (1974) colocam que é necessário:

- Conhecer a magnitude das perdas e desenvolver técnicas para controlá-las
- Ter uma estrutura adequada de controle e de medida da água utilizada na irrigação, como forma de permitir a aplicação necessária;
- Aplicar a água de modo uniforme nas parcelas de rega;
- Aplicar métodos, instrumentos critérios e técnicas da economia como base para a decisão das culturas a serem irrigadas e do volume a ser aplicado.

No caso de lavoura de arroz irrigado por inundação, o uso da expressão de Doorembos e Kassam (1979) é prejudicado, pois, ao menos que ocorra o esvaziamento dos quadros de irrigação, a evapotranspiração máxima sempre será garantida pelo completo encharcamento do solo, o que tornará a água sempre facilmente disponível.

Uma forma de expressar a relação do consumo e a real necessidade de água na lavoura do arroz é a concepção de balanços hídricos na lavoura. As figuras abaixo apresentam duas diferentes proposições, citadas no projeto da bacia do rio Mekong.

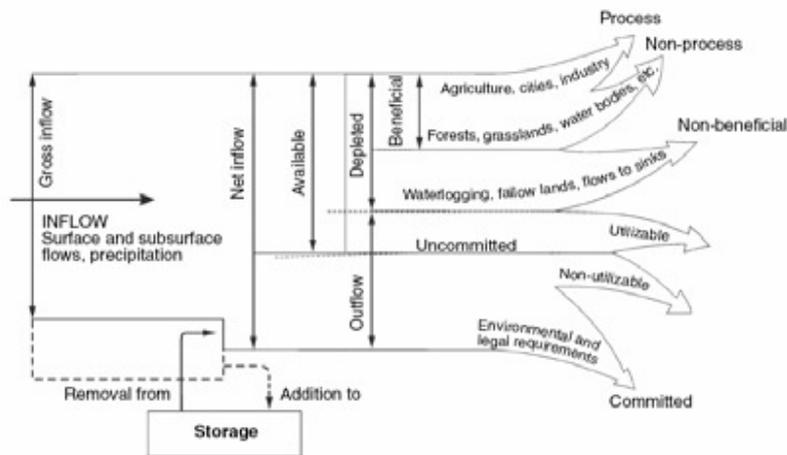


Figura 14- Esquema de balanço hídrico (Phengphaengsy e Okudaira, 2006)

Tradicionalmente, são consideradas “perdas de água” as que não forem utilizadas para atender a evapotranspiração

De acordo com a figura acima, o balanço de água na lavoura é definido por:

$$AWS = (P+DIV+CS)-(ET+N+C) \quad 4.48$$

sendo: AWS – suprimento de água disponibilizado para a área delimitada; P – precipitação total sobre a lavoura; DIV – fornecimento de água pelo sistema de canais e fluxo superficial natural ingressante na lavoura; CS – mudança no estoque de água subterrânea ou ingresso de água subterrânea de áreas vizinhas; ET – evapotranspiração real; N – parcela não utilizada da água fornecida pelo sistema de canais (ou água drenada); C – fluxo de água superficial para áreas vizinhas, por indicações legais ou acordo entre irrigantes.

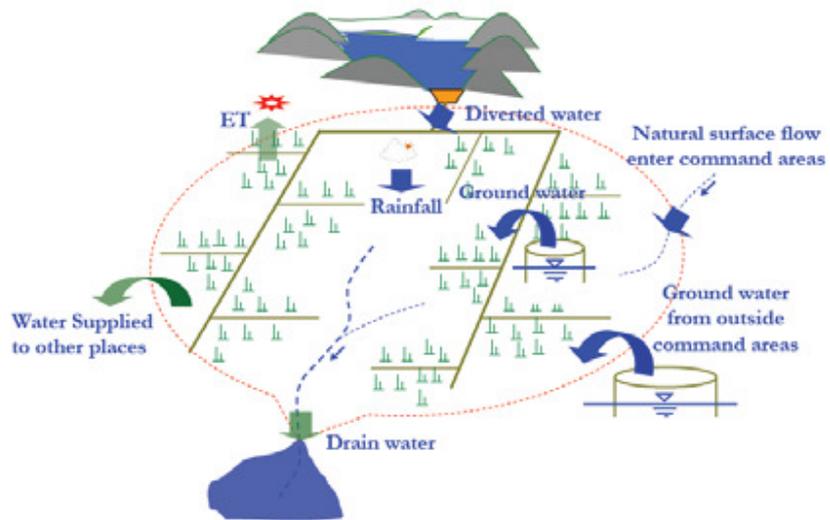


Figura 15 -Balanço hídrico concebido para o projeto da bacia do Mekong (Phengphaengsy e Okudaira, 2006)

#### 4.6. Eficiência em sistemas de irrigação

Em 1474, durante o reinado de Philibert 1º na região do Piemonte, foi criada uma medida de distribuição de água no canal de Ivree. Embora imperfeita, a medida foi o começo da criação de um sistema de controle da água distribuída aos irrigantes, que, após passar por sucessivas melhorias, definiu um novo módulo métrico e a criação de regras precisas de distribuição e incentivou a abertura de novos canais. (De Buffon, 1861)

Parker (1913), analisando sistemas de irrigação na Índia, aponta que para cada unidade de vazão que ingressava no início do canal principal, os irrigantes recebiam 0,53 unidades e utilizavam apenas 0,28 unidades.

Para Rieu e Trieul (1994), os sistemas antigos de irrigação superficial da França apresentam perdas de até 70% da água utilizada na irrigação, quando não apresentavam regulação da distribuição aos irrigantes. A eficiência de condução dos projetos mais modernos (à época) atingia valores entre 70 e 80% em relação ao volume distribuído. Para os projetos já existentes, a reabilitação, melhor gestão, a regulação da água distribuída e um controle maior da irrigação na parcela são ações necessárias para a economia de água.

As eficiências de condução são definidas como a relação entre a soma das vazões parcelares entregues e a vazão remanescente no final do canal, e a vazão total que ingressou no canal, ou seja,

$$Ef = (\sum q_{parcelas} + Q_{final}) / Q_{inicial} \quad 4.49$$

Krinner et alli (1994), analisando projetos de irrigação na Espanha, encontraram registros de volumes de ingresso no sistema de distribuição em muitos projetos, mas muito poucos tinham o registro da água distribuída.

Em Portugal, consideram-se sistemas coletivos de irrigação os de responsabilidade estatal ou privada, nos quais o fornecimento de água é feito a partir de reservatórios ou *linhas de água*, por meio de uma rede de transporte e distribuição (PORTUGAL, 2001). Os sistemas localizados no centro e no sul do País possuem extensas redes de transporte e distribuição em superfície livre ou sob pressão, sendo equipadas com estruturas hidráulicas de regulação e controle mais ou menos complexas. Os sistemas do norte do País têm menor dimensão e redes de distribuição mais simples.

As perdas de água nestes sistemas são consideradas significativas. No vale do Sado, as perdas são estimadas em 21% do volume total armazenado. Parte destas perdas é devida a infiltrações, fugas e mau funcionamento hidráulico ocasionado pela acumulação de sedimentos, limo e infestação de invasoras dentro dos canais.

A eficiência global de sistemas de irrigação superficial de arroz não excede 21%, segundo estudo da ICID, citado por Plusquellec (2002).

Tabela 15 – Taxas de eficiência global baseada em pesquisas da ICID

Gestão e comunicação		Eficiência de aplicação (%)		
		Sulcos 57	Aspersão 67	Arroz 32
Eficiência de distribuição		Eficiência global (%)		
Adequada	65	37	43	21
Suficiente	55	31	37	18
Insuficiente	40	23	27	13

Fonte: Plusquellec, 2002

Krinner et alli (1994) definiram uma eficiência de condução da água no sistema de canais da ordem de 10% do volume total disponibilizado no canal principal. Sendo a perda teórica por evaporação direta nos canais entre 0,2 e 1,1%, com valor referencial médio de 0,5%, a maior parte das perdas refere-se à infiltração ou ao manejo das estruturas de controle.

Os mesmos autores encontraram maiores eficiências no sul da Espanha, onde a água é mais escassa, do que no norte. Os fatores que foram estudados quanto à influência sobre a eficiência dos sistemas de irrigação foram:

- Método de irrigação (gravidade ou pressurizados);
- Dotação hídrica anual, definida como a relação entre o volume consumido e a área irrigada;
- Idade do sistema de irrigação;
- Tipo de tarifa de irrigação;
- Valor total pago pela água;
- Evapotranspiração potencial;
- Área irrigada total;

- Área irrigada por produtor;
- Número de empregados do órgão responsável pela manutenção e operação do sistema.

Destes fatores, apenas os cinco primeiros apresentaram uma relação estatística significativa com a eficiência.

Flynn (1892) considerava que as perdas de água em sistemas de irrigação eram devidas a diversos fatores relacionados com o terreno, a cultura irrigada e a gestão da irrigação, entre os quais cita a experiência dos irrigantes, a duração da irrigação e a forma de cobrança pela água, colocando que o pagamento por volume era uma boa forma de fazer os irrigantes economizarem água.

Os métodos que necessitam de água pressurizada apresentaram uma eficiência média de 80%, contra 54% da irrigação gravitacional. As maiores perdas foram observadas nos sistemas mais antigos, sendo que os implantados nos anos 70 e seguintes apresentaram uma eficiência de 84%, contra 62% dos construídos entre 1950 e 1970 e 57% dos implantados antes dos anos 50. Na década de 50, os canais passaram a ser revestidos em concreto e, a partir dos anos 70, houve um incremento significativo da aspersão.

Quanto à dotação hídrica, os sistemas gravitacionais consumiram 9.300 m<sup>3</sup>.ha.ano contra 5.800 m<sup>3</sup>.ha.ano dos sistemas pressurizados. O estudo mostra que quanto maior o volume consumido, menor é a eficiência.

Por fim, a tarifa de água e o custo total da água. Os sistemas que cobram apenas pela área apresentam uma eficiência de 57%, contra 77% dos que cobram uma tarifa binomial, por área e por volume.

Focando a análise apenas nos sistemas de irrigação por aspersão que cobram por área ou de forma binomial, os autores observaram eficiências de 71% e 90%, respectivamente.

Plusquellec (2002) afirma que os sistemas de irrigação com canais apresentam performances relativamente pobres e têm muitas dificuldades para gerenciar a distribuição

de água, resultando em retornos abaixo dos esperados. A eficiência é determinada por um conjunto de fatores físicos, institucionais e políticos.

Segundo PORTUGAL (2001), outra parte significativa das perdas deve-se a liberação de vazões excessivas, decorrentes do método de regulação das redes. A maior parte dos perímetros irrigados foi concebida pelo método de regulação por montante, que permite um elevado nível de controle (e eficiência) quando a distribuição de água obedece a sistemas rígidos de distribuição, como o da rotação. Rijo e Betâmio de Almeida (1994) complementam, colocando que os perímetros antigos foram concebidos com base no binômio rotação e regulação por montante, resultando em um arranjo ineficiente para distribuição por pedido. Havendo a flexibilização da lógica de distribuição, o controle por montante passa a ter a desvantagem de não dispor de uma reserva capaz de atender prontamente a novas demandas ou acumular os excedentes dentro dos trechos regulados, como ocorre na regulação por jusante. Para atender as variações de demanda e aumentar a flexibilidade, os gestores dos sistemas adaptam métodos de controle manuais muito exigentes em mão de obra e que funcionam com uma baixa eficiência no transporte de água, principalmente nos períodos e horários de menor demanda. No caso de sistemas atendidos por reservatórios de acumulação, sobretudo nos que têm uma função de regularização intra-anual, a busca por um aumento de eficiência global do sistema a partir da manutenção da água no reservatório poderá reduzir a capacidade de acumulação no período de enchimento em detrimento da utilização dessa água para usos alternativos, dentre os quais o aumento da área irrigada e a manutenção de ecossistemas.

Segundo o mesmo estudo, nos projetos localizados ao norte do país, quando existem reservatórios ao longo do sistema de distribuição, a água circula por mais tempo dentro da bacia. As perdas ocorridas a montante significam acréscimos de vazão a jusante, porém com possibilidade de utilização variável. O aumento da eficiência a montante pode, portanto, gerar situações de déficit a jusante e um fluxo mais rápido para o oceano.

A proposta constante no Programa Nacional para o uso eficiente da água (PORTUGAL, 2001) inclui o estabelecimento de calendários de distribuição por acordo entre os agricultores e o gestor das redes em substituição aos horários rígidos de distribuição e o alargamento dos horários de fornecimento de água de forma a buscar uma

distribuição mais contínua de água ao longo do dia e da semana, diminuindo os picos de demanda e/ou fornecimento de água. O ganho possível com a adoção destas medidas é estimado em 15%, passando a eficiência média de transporte e distribuição de 70 para 85%.

A importância de ampliação do período de distribuição foi demonstrada por Rijo e Pereira (1987, apud Ministério, 2001), que encontraram valores entre 59 a 76% nos dias de semana e entre 48 e 59% nos finais de semana. Considerando-se apenas as horas efetivas de trabalho dos irrigantes, as eficiências variaram entre 69 e 88%. Segundo os autores, *as eficiências durante os períodos em que não se rega podem ser bastante menores no caso de perímetros em que não se pratique a rega contínua da cultura do arroz.*

Para garantir maior flexibilidade na distribuição de água nos sistemas com regulação clássica por montante, é possível reconfigurar estes sistemas, seja pela introdução da automação e centralização das decisões de controle, seja pela inclusão de reservatórios intercalares de regulação.

Os reservatórios intercalares permitem compensar as diferenças entre a vazão máxima admitida no canal e vazão de pico necessária. É uma intervenção estrutural, que é muito exigente em termos de obras e necessita de uma automatização de controle para ser eficiente. Como vantagem principal, é capaz de responder bem a flutuação da demanda.

John (1992) propõe controle por montante na parte inicial ou superior dos sistemas atendidos por canais de forma a possibilitar a retomada da regulação de grandes descargas realizada na estrutura de armazenamento ou no próprio sistema de canais. Na parte inferior, ou na área das tomadas de água para irrigação, indica o controle por jusante para permitir uma maior flexibilidade de uso ao irrigante.

A automatização das diferentes estruturas de controle e regulação, como os partidores de água, comportas, módulos de distribuição e estações elevatórias, pode ser realizada com diferentes níveis de complexidade, investimentos e eficiências. Há a possibilidade da introdução de telemedição ou de telealarme para apoio das decisões do gestor do sistema. As principais vantagens são o aumento da eficiência e a redução da mão de obra necessária para a operação do sistema. Como desvantagem, o custo inicial da automação pode ser muito elevado.

Em uma situação mais avançada, pode ser adotado o telecomando das manobras necessárias, a partir das informações coletadas pela telemedição. Nesta opção, é possível antecipar as manobras necessárias para responder eficientemente as variações da demanda. Esta solução exige conhecimento mais aprofundado do funcionamento hidráulico do sistema de distribuição e de suas estruturas de controle, além de ser tecnologicamente exigentes. A possibilidade de redução das perdas no transporte e na distribuição é estimada em 20%, de acordo com as condições de exploração dos perímetros.

Raposo (1996) afirma que o desenvolvimento da eletrônica permitiu a evolução da gestão em canais, por meio de uma modalidade semelhante a contra-pedido, que é o *controle dinâmico*, que permite alterar a lógica de controle para jusante e uma distribuição mais próxima de uma demanda livre.

Para esta alteração, são instalados medidores de nível nos canais, conectados a uma central de controle, que determina a abertura ou fechamento de estruturas de regulação, de modo a fornecer a vazão necessária.

A adoção de sistemas como – **SCADA - Supervisory, Control And Data Acquisition** – permite a gestão destes processos, que podem incluir o controle de níveis, de vazão ou ambos, com totalização ou não dos dados e rotinas de alarme e manobras de segurança para o sistema. Por estas razões, o SCADA é superior ao simples controle automático, como no caso obtido pelo uso de comportas hidromecânicas.

Plusquellec (2002) afirma que os padrões antigos do USBR foram adotados por um grande número de projetos. Este arranjo é compatível com condições semelhantes a alguns estados do oeste americano: estação chuvosa curta, boa rede de estradas e comunicação, operadores dedicados e treinados. Todas estas condições não são encontradas geralmente nos países onde foram implantados os projetos.

Basicamente, são projetos com uma rede de canais equipados com estruturas operadas manualmente. Reguladores transversais aos canais são equipados com uma ou mais comportas planas ou radiais, manuais ou motorizadas. Em alguns casos, vertedores laterais são colocados para uso emergencial, não para operações normais. Tomadas de água para funcionamento com altura de carga constante sobre orifícios são responsáveis pela

entrega e medição da vazão. Esta infra-estrutura é, teoricamente, compatível com diferentes métodos de distribuição de água: rotação, calendário prévio ou centralizado.

Um grande número destes projetos apresenta baixas performances hidráulica, agronômica e econômica, conforme estudo da FAO.

O mesmo autor havia colocado anteriormente (Plusquellec, 1992) que a visão sobre a ineficiência de sistemas coletivos de irrigação havia sofrido uma evolução. Na década de 70, o entendimento geral era de que a ineficiência maior era dos irrigantes nas parcelas. Muitos investimentos foram realizados na gestão dos canais terciários, na irrigação parcelar e na organização dos produtores, mas com resultados abaixo do esperado.

Na década seguinte, passou a ser amplamente aceito que os problemas na parcela eram influenciados pelo manejo do sistema de distribuição. As conclusões obtidas levaram à compreensão de que o uso eficiente por parte do agricultor não seria obtido se a distribuição fosse realizada de forma inadequada quanto ao tempo de fornecimento e ao volume entregue. Um fornecimento de água deficiente resulta em anarquia, conflito entre usuários, desrespeito pelas normas estabelecidas e não pagamento das taxas referentes à água.

A criação do IIMI – International Irrigation Management Institute, com sede no Sri Lanka, ocorreu nesta época e com o objetivo de melhorar a eficiência da gestão da irrigação. (Plusquellec, 1992)

A modernização de perímetros irrigados tipicamente inclui a gestão da demanda para incentivar o uso eficiente da água e impõe novas externalidades no sistema de irrigação em termos ambientais, econômicos e financeiros. Neste aspecto, o preço da água é básico nesta modernização.

Segundo relato da AUSTRALIAN (2000), os processos de modernização implantados em diversos perímetros irrigados australianos mostram resultados positivos quanto à elevação da eficiência de distribuição de água e redução de mão de obra na operação dos sistemas. Sobre a robustez de alguns componentes, no entanto, não há uma opinião unânime entre os gestores entrevistados, que relatam perdas de informações, dificuldades de comunicação entre o gestor e a estrutura de controle, presença de insetos

afetando os sensores ou controladores, falha no fornecimento de energia elétrica ou da rede de comunicações, entre outros.

O processo de modernização de sistemas de irrigação iniciou na década de 40 (Plusquellec, 1992), com a introdução das comportas automáticas, sendo incrementada três décadas depois com o avanço das telecomunicações, sensores eletrônicos e computadores.

Em projetos de irrigação na Ásia, implantados nas décadas de 60 e 70, apresentam uma gestão da distribuição de água que foi se adaptado às condições ao longo do tempo, influenciadas pelo afrouxamento da disciplina e fragilidade institucional. No entanto, essas condições foram favorecidas por outros problemas:

- Deficiências no projeto inicial do sistema;
- Extrapolação de conceitos de projeto além da sua faixa de validade;
- Dificuldade em controlar e operar os sistemas;
- Sistema projetado com uma hierarquia confusa entre os seus componentes;
- Estratégia de operação falha;
- Inconsistência entre as regras de operação nos vários níveis;
- Inconsistência entre as regras de operação e as demandas dos agricultores;
- Mudanças nas demandas dos agricultores não refletiram em mudanças na política de gestão do sistema;
- Baixa qualidade do sistema de distribuição de água;
- Muita flexibilidade na gestão em todos os níveis.

O resultado é que a gestão atual é muito distinta do que a projetada, com um esforço significativo para recuperar o controle da distribuição da água, mas também implementar a medição da água distribuída.

Plusquellec (1992) também afirma que a velocidade de modernização de perímetros irrigados é lenta, apesar das evidências favoráveis já apontadas em termos de economia de água, melhoria da eficiência global, maior segurança para o irrigante e redução de conflitos entre irrigantes e entres estes e o órgão gestor do sistema. Uma das razões para isso é o tempo necessário para a apropriação de tecnologias. Mesmo na década de 80, quando muitas tecnologias já haviam sido desenvolvidas e confirmadas, em muitos países

observou-se a implantação de sistemas de distribuição por canais nas mesmas condições observadas no passado. Outro fator é a visão equivocada que a gestão de canais com uso de novas tecnologias é mais complicada para países em desenvolvimento, desprezando a existências de estruturas simples e sem componentes eletrônicos como vertedores de crista de grande desenvolvimento e módulos de distribuição de vazão ou a adoção do controle por jusante para canais de dimensões médias dentro do sistema de distribuição, como forma de eliminar parcialmente a intervenção humana.

O custo estimado para modernização do controle de canais situa-se entre 5 e 10% do custo de um sistema convencional, podendo ser inferior se a gestão for concebida ainda na fase de projeto.

Ainda segundo Plusquellec (1992), existem três grupos que resistem naturalmente à modernização de perímetros de irrigação. O primeiro inclui os técnicos responsáveis pelas agências de irrigação que devem estabelecer as orientações de projeto. Este grupo, por uma falha de comunicação com o pessoal de campo, desconhece as dificuldades de operação das estruturas existentes. O segundo grupo inclui as empresas de consultoria, que não têm incentivos para tentar mudanças na filosofia de projetos, seja pelo tempo escasso que tem para cumprir os contratos, seja por evitarem conflitos com os clientes representados pelo primeiro grupo. O terceiro grupo é o dos técnicos das agências financiadoras internacionais, que sofrem pressões das agências e poucos têm experiência em práticas modernas de gestão de irrigação.

Os irrigantes e os operadores do sistema, que são os últimos beneficiários, normalmente não teriam interesse de estudar ou poder para impor técnicas de melhorias na operação do sistema de distribuição por canais.

John (1992), a partir da análise de projetos de irrigação, avalia que os mesmos foram projetados por engenheiros que desconheciam as necessidades reais dos agricultores e definiram o sistema de distribuição com base em um calendário de rotações e uma quantidade de água teoricamente suficiente para atender as necessidades, buscando o menor investimento possível, mas trazendo inconvenientes em sua operação.

Segundo o autor, o projetista ideal seria *um engenheiro que esteja atualizado com as técnicas modernas; que tome decisões baseadas em um calendário de irrigação flexível*

*e na automação do sistema e que tenha capacidade de entender as necessidades locais de um agricultor educado.*

A sustentabilidade de novos arranjos dos perímetros públicos de irrigação, resultantes da emancipação dos mesmos em relação à gestão pública, depende da capacidade desta nova gestão em prover um serviço de distribuição de água adequado, com controle e alocação de água capaz de resultar em ganhos de produtividade agrícola. Isso é essencial para que os irrigantes paguem pela água para viabilizar a manutenção da entidade gestora.

Algumas questões relacionadas a esta transferência de gestão, que deve estar intimamente relacionada com processos de modernização de perímetros de irrigação, necessitam ser respondidas:

- Pode um projeto de engenharia levar em conta aspectos humanos e institucionais?
- Qual é a repercussão destes aspectos sobre o tipo de tecnologia?
- Como se gera um projeto simples, com procedimentos de operação transparentes e exequíveis?
- Há conhecimento para projetar e implantar um sistema de irrigação com controle e gestão orientados pela distribuição da água?
- Quais são as ferramentas e processos para a tomada de decisão nos diferentes níveis de serviço, nas regras operacionais, no planejamento e projeto dos trabalhos de reabilitação destes perímetros?
- Como os irrigantes estarão envolvidos?
- Como essas decisões sobre a gestão estarão relacionadas com as decisões financeiras – taxas e contribuições pagas pelos irrigantes para a manutenção da estrutura física?
- Como essas mudanças estão relacionadas com a elevação da qualidade de gestão?

Há uma necessidade urgente de modernizar e melhorar os sistemas de controle de água na maior parte dos grandes sistemas de irrigação, com a adoção da cobrança por volume, ao invés de facilitar a diversificação cultural.

Plusquellec (2002) afirma que os irrigantes tendem a buscar soluções para suas necessidades de água, principalmente em sistemas de irrigação superficial. Essa resposta é gerada por mudanças econômicas, como o preço de certos produtos, mas também por uma gestão deficiente, serviço inadequado ou vazões insuficientes para uma irrigação intensiva. Neste sentido, os irrigantes buscam maior flexibilidade, maiores volumes fornecidos e recuperação de parte da água drenada. Também podem reduzir a demanda por modernização das práticas agrícolas (seguindo um pensamento econômico, com a otimização dos recursos investidos) ou pela adoção de práticas ilegais ou em desacordo com as regras do sistema, como a criação de um mercado paralelo de água, a manipulação de estruturas de controle, o uso de fontes adicionais (bombeamento do canal e de drenos), exploração da água subterrânea, entre outros. O autor afirma que isso é inevitável, e os irrigantes vão subverter as regras de distribuição de água se essas não forem adequadas e confiáveis para que eles atinjam seus objetivos.

Quando os custos de operação e manutenção são totalmente assumidos pelos irrigantes, a relação entre o custo do serviço de distribuição e a sua qualidade é analisada com mais detalhe pelos usuários (Plusquellec, 1992).

O autor também coloca que algumas práticas de modernização foram ou estão sendo adotadas em alguns projetos de irrigação das décadas de 50 e 60, como:

- A implantação dos canais terciários pelo governo, nos projetos onde isso seria responsabilidade dos irrigantes, que não o fizeram corretamente por falta de recursos ou de técnica;
- Criação de grupos de usuários de água no nível de canais terciários;
- Refinamento do processo de medição da água, sendo largamente aceito o conceito de que a medição da água consumida é essencial para uma efetiva gestão da água;

Segundo Plusquellec (2002), a mudança de gestão no projeto Dantiwada, na Índia, manteve como elemento de controle o nível de montante em cada uma das oito seções de regulação do canal principal de 46 quilômetros. Entretanto, cada operador se comunica com

o operador a montante, orientando sobre a alteração da vazão de entrada no trecho, como se fosse um controle por jusante. Esta alteração elevou a eficiência do sistema, mas exigiu um esforço prévio na qualificação dos operadores.

É fácil atender a demanda de água solicitada com um sistema manual operado com controle a montante, se a vazão fornecida for superior à demanda atual. No entanto, esta situação gera perdas de água excessivas no final do sistema, principalmente quando a demanda é pequena, sobretudo à noite.

Phengphaengsy e Okudaira (2006) apresentam um estudo sobre aumento de eficiência da irrigação na bacia do Mekong. Para melhorar o desempenho de sistemas de irrigação, os autores colocam que é necessário:

- Identificar os *stakeholders* responsáveis pela tomada de decisão pela distribuição de água dentro do sistema de irrigação para entender os diferentes processos e sua influência na implementação das alterações que serão propostas;
- Examinar a estrutura organizacional dos *stakeholders* (gerentes de irrigação, usuários de água) envolvidos na tomada de decisão, incluindo os agentes formais e informais, de forma a auxiliar a identificar os níveis de intervenção em termos de capacidade de desenvolvimento e implantação dos projetos;
- Examinar os procedimentos da alocação de água como o contrato de irrigação e as fontes de água do projeto e também identificar as regras e regulação da distribuição de água para diferentes usuários do sistema. As regras formais e informais definirão as bases para a prática de distribuição de água e, de certa forma, influenciarão a eficiência de irrigação.

As regras formais devem ser coletadas de forma separada, de forma a responder uma série de questões:

- Quais são as regras formais utilizadas no projeto?
- Como são as atuais práticas de distribuição de água no projeto?
- Quais são as vantagens que as atuais regras e práticas trazem para o gerenciamento do sistema?

- Que critérios são adotados pelas autoridades do sistema de irrigação para alocar a água entre os diferentes usuários?
- As autoridades do sistema distribuem a água de diferentes formas para os diferentes usos?
- O critério utilizado pelas autoridades do projeto na prática é diferente das regras formais? Qual é essa diferença?
- A água é distribuída ao longo de todo o tempo?

Hamed e Chávez Ariosto (1992) indicam que a medição da água utilizada pode sustentar a cobrança por volume e este, por sua vez, possibilita a definição de políticas de dotação e distribuição baseadas em critérios de produtividade hídrica das culturas, expressa em unidades monetárias recebidas por m<sup>3</sup> utilizado.

#### **4.7. A lavoura de arroz irrigado no Rio Grande do Sul**

A determinação da vazão que deve ser transportada pelo sistema de canais depende da estimativa da vazão unitária, que por sua vez depende das informações do clima, da cultura e do tipo de manejo e da eficiência global prevista.

No caso específico do Rio Grande do Sul, há o predomínio absoluto da irrigação da cultura do arroz, cuja área atualmente cultivada ultrapassa os 1.000.000 hectares. Este é o estado brasileiro que apresenta a maior área irrigada nacional (Righes, 2000). Na elaboração dos planos de bacia ou do diagnóstico dos usos ou das disponibilidades qualitativas dos recursos hídricos, a irrigação desponta como um dos principais usos e, na maior parte das vezes, como o uso preponderante em volume. Para a irrigação superficial do arroz em particular, caracterizada como de baixa eficiência, com perdas que podem ser superiores a 50%, o diagnóstico do uso de água em algumas bacias gaúchas mostra uma situação clara de concentração, sendo que os irrigantes respondem por mais de 90% do volume consumido anualmente em toda a bacia, mesmo que a irrigação seja realizada apenas em um período não superior a cinco meses.

Em 1998, o estado apresentava uma área irrigada de 998.800 hectares, com um volume derivado dos mananciais de 11.421.278.000 m<sup>3</sup>/ano, o que representava 33,81% do total brasileiro. (Lima et alli, 1999). Em 2005, a área irrigada apenas com arroz somava 1.039.421,7 hectares (Fischer, 2006).

Da área irrigada em 1993, 43% das propriedades utilizavam o abastecimento por processos de distribuição por gravidade e os 57% restantes utilizavam a captação por bombeamento (Righes, 2000). AGÊNCIA (2009), citando o censo da lavoura orizícola de 2006, coloca que na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul as estruturas de armazenamento são mais importantes, respondendo por 61,6% das captações de água para as lavouras, sendo o restante atendido por bombeamentos. Em 2005, (Fischer, 2006) 29,7% da área total foi irrigada de forma natural, ou seja, por gravidade. Neste caso, um aumento do consumo não significará, necessariamente, uma elevação nos custos da lavoura. A energia elétrica foi utilizada em estações de recalque responsáveis por atender 56,7% da área, sendo que motores a diesel responderam pelos restantes 13,5%.

No entanto, açudes ou barragens são a fonte primária de 48,5% da água utilizada, o que pode significar que o produtor não estará disputando a água com outros usuários, o que é mostrado pelo grau de satisfação em relação à disponibilidade de água: mesmo após uma grande seca (2004-2005), o número de insatisfeitos com a disponibilidade de água representava apenas cerca de 30% do total dos agricultores, sendo que 50% estavam satisfeitos e 20% eram indiferentes a este indicador.

Fischer (2006) coloca que a água “própria” era responsável por 60,5% da irrigação, sendo que a água “arrendada” respondia pelos restantes 39,5%.

Esta visão da água “própria” reflete uma visão ainda relativa ao Código de Águas de 1934, mas muito presente entre os agricultores e um dos maiores dificultadores da cobrança pelo uso da água e do próprio processo de outorga, embora este fosse um instrumento já previsto pelo Código.

A figura da água “arrendada” remete ao “mercado de água”, mas não na visão corrente da gestão de recursos hídricos, o que leva a um certo grau de confusão, observado nas pesquisas a campo do levantamento da Disposição a Pagar, quando eram propostos inicialmente valores muito acima da expectativa e próximos ao valor do “arrendamento” da água na região.

Em relação à área, as terras próprias responderam por 40,6% das lavouras, o que significa que 59,4% das lavouras eram sobre terras arrendadas.

A irrigação da lavoura de arroz no Rio Grande do Sul pode ser considerada como uma consequência natural da disponibilidade de terras planas, de difícil drenagem natural, das condições climáticas do período da primavera e do verão e uma relativa abundância de água.

O início da irrigação mecânica do arroz (com o uso de bombas elevatórias) data de 1904, na região de Pelotas. O avanço da lavoura ocorre de forma mais significativa no período da Segunda Guerra, sendo que a área irrigada nos anos de 1942/43 era de 162.000 hectares, subindo para 200.000 hectares nos anos de 1944/1945, com um acréscimo de 25% em dois anos. (Rio Grande do Sul, 1946)

A partir disto, a área irrigada foi sendo ampliada até atingir valores próximos de um milhão de hectares.

Segundo Vieira e Telles (2001), a irrigação por inundação na região Sul somava 990 mil hectares em 1988. Os autores classificam essa irrigação como “facilitada”, *devido às extensas áreas, à abundância de água e à topografia adequada, que facilitam sobremaneira a implantação de tabuleiros para a irrigação de arroz. Nesta área estão 40% da irrigação do País, utilizando o método de inundação, porém com baixo nível tecnológico.*

O estado do Rio Grande do Sul apresenta cerca de 5.300.000 hectares de solos de várzea, assim considerados os que apresentam características hidromórficas. (Klamt, 1985). A área ocupada com a lavoura de arroz varia de acordo com as condições de mercado e clima. O Instituto Rio-Grandense do Arroz mantém o registro das áreas cultivadas e colhidas no estado, desde 1921. O Gráfico a seguir apresenta a evolução de área colhida e da produtividade sobre o ano base 1921/1922, com uma área de 79.120 hectares e produtividade média de 44 sacos por hectare, até o ano agrícola 2007/2008, com uma área plantada de 1.068.339 hectares e uma produtividade média de 141 sacos por hectare.

A análise das curvas mostra uma certa estagnação entre as décadas de 20 e 40. A partir da ação do IRGA, especialmente da pesquisa e da extensão rural, observa-se uma evolução de produtividade e de área plantada. No entanto, é na década de 70, coincidente com a Revolução Verde, que a produtividade cresce de forma significativa em curto espaço de tempo. Observa-se, também, na década de 80, uma evolução constante da área irrigada, reflexo de uma política definida de preços mínimos e pela ação de programas de incentivo à irrigação, como o PROVÁRZEAS. Na década de 90, inicia-se a crise do arroz, com a abertura de importação do produto a preços menores que o custo de produção, o que tem reflexos tanto na evolução da área plantada, como no aumento da produtividade média. Observa-se, assim, que a existência de políticas agrícolas influencia a área irrigada, o que poderia alterar o valor da elasticidade-preço para a água. Da mesma forma, evidencia-se que a possibilidade de utilizar insumos químicos altera o excedente do produtor, desde que sob custos marginais menores do que os benefícios marginais obtidos, e influenciará na sua disposição a pagar pela água, se esse for o fator limitante para a produção.

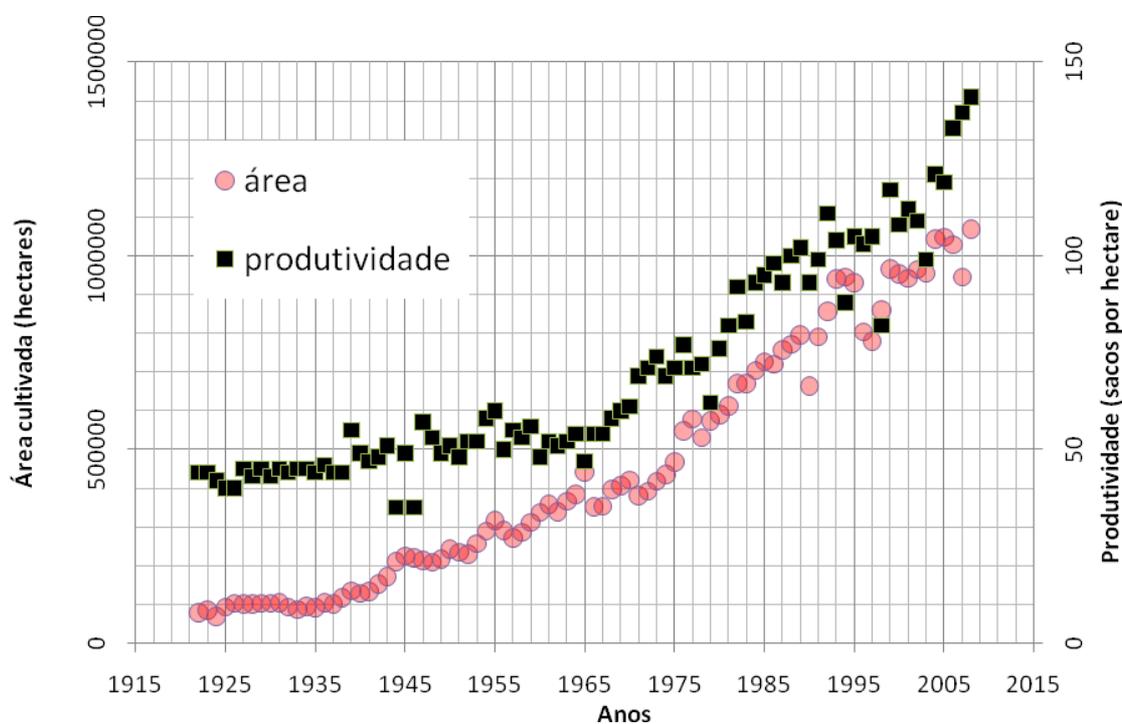


Figura 16 - Evolução da área cultivada e produtividade da lavoura de arroz no Rio Grande do Sul – 1921-2008 Fonte dos dados básicos: INSTITUTO, 2008

SOSBAI (CONGRESSO, 2005) coloca que os sistemas de cultivo utilizados na cultura do arroz irrigado basicamente diferenciam-se quanto:

- ao processo de preparo do solo;
- métodos de semeadura; e
- manejo inicial da água

Os sistemas de cultivo atualmente encontrados no Rio Grande do Sul são os seguintes (CONGRESSO, 2005):

a) Sistema convencional – envolve operações de preparo do solo mais profundas, com uso inicial de arado seguido de tratamento com grades ou plainas. O teor de

umidade no solo é importante para estas operações. A sementeira é realizada a lanço ou em linha;

b) Cultivo mínimo – ocorre a redução dos trabalhos mecanizados, quando comparado com o sistema convencional. O preparo do solo pode ser realizado em diversas épocas do ano, e há o uso de dessecantes para eliminar a cobertura vegetal existente na época da sementeira do arroz.

c) Plantio direto – o solo não é revolvido e a semente é depositada em um pequeno sulco. O controle de invasoras é realizado com herbicidas, antes da sementeira.

d) Pré-germinado – há a utilização de sementes previamente germinadas. O preparo do solo é realizado com a formação de lama, seguido do nivelamento e alisamento realizados com o solo inundado. Os implementos utilizados são o arado, a grade, a enxada rotativa e pranchões de madeira para alisamento.

e) Mix – é uma variante do pré-germinado, com o preparo antecipado do solo, o desenvolvimento de ervas invasoras, o dessecamento com herbicidas e a sementeira de sementes pré-germinadas.

f) Sistema de transplante de mudas – o preparo do solo, manejo d'água e controle de invasoras é idêntico ao sistema pré-germinado. A produção de mudas utiliza sementes pré-germinadas, que são posteriormente transplantadas em solo inundado.

Conforme o Censo da Lavoura de Arroz Irrigado do RS ( INSTITUTO, 2006, citado por AGÊNCIA, 2009) a distribuição das áreas cultivadas por cada modelo na Fronteira Oeste do estado são:

- cultivo mínimo – 86,9% ;
- convencional – 8,4%;
- plantio direto – 4,1%;
- sistema pré-germinado – 0,6% da área.

Para o estado como um todo, Fischer (2006) apresenta os seguintes valores:

- cultivo mínimo – 61,1% ;

- convencional em linha– 17,6%;
- convencional a lanço– 4,3%;
- plantio direto – 5,7%;
- sistema pré-germinado – 11,2%
- Outros – 0,1% da área.

Segundo a SOSBAI (CONGRESSO, 2005), *a quantidade de água exigida para o cultivo do arroz é 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 depende, principalmente, 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. No sistema de plantio com sementes pré-germinadas, além da água necessária durante o ciclo da cultura, deve-se somar as necessidades para o preparo do solo, que normalmente é feito sob condições de inundação.*

A necessidade de água do arroz durante o ciclo para os sistemas de cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto podem ser atendidas por vazões *contínuas* de 1,5 a 2,0 l/s.ha, em um período médio de irrigação entre 80 e 100 dias. Para o sistema pré-germinado, deve-se prever o acréscimo de 1.000 a 2.000 m<sup>-3</sup>.ha para a fase de preparo do solo.

Marcolin e Macedo (2003), citando EMBRAPA (1999), colocam que o volume de água consumido na irrigação depende da textura do solo, da declividade do terreno, e de fatores climáticos, que determinam vazões contínuas de 1,5 a 2,0 l/s.ha num período médio de irrigação de 80 a 100 dias. No estudo, encontram valores de vazão unitária entre 0,82, 0,95 e 1,06 l/s.ha para os sistemas de plantio pré-germinado, direto e convencional, respectivamente, sendo que para o pré-germinado não foi considerado o volume necessário para o preparo do solo.

Righes (2000) coloca que o consumo médio da lavoura de arroz é de 2 l/s.ha, com eficiência de irrigação entre 40 e 45%, podendo atingir até 60% em condições adequadas de solo, relevo e manejo da água. Carrera-Fernandez e Garrido (2002) indicam uma vazão

continua de 2 a 2,5 l/s.ha, considerando uma irrigação 24 horas por dia para o método de irrigação por inundação, no estado da Bahia.

De Buffon (1861) indica uma vazão específica média 2,5 l/s.ha para as lavouras de arroz no norte da Itália, contra um valor médio de 1 l/s.ha para as pastagens e de 0,8 l/s.ha para os outros cultivos. Ramos (1985) cita a utilização de vazões entre 2 e 2,5 l/s.ha tendo-se em conta todas as necessidades e perdas.

Machado et alli (2000) estudaram o consumo de água na lavoura de arroz, para diferentes métodos de irrigação, obtendo os resultados apresentados abaixo. Neste estudo, o consumo de água foi monitorado diariamente com hidrômetros instalados nas parcelas, sendo a água conduzida por tubulações fechadas e pressurizadas. A lâmina da água foi mantida com um valor máximo de 10 cm. As parcelas, de 160 m<sup>2</sup>, foram aplainadas e isoladas para evitar perdas de água por infiltração lateral. Os consumos obtidos são coerentes com a necessidade de água para o arroz irrigado, sendo apresentada referência de valores entre 5.130 e 8.016 m<sup>-3</sup>.ha. No entanto, são muito inferiores aos valores referenciais brutos, devido ao grande volume de perdas observado na irrigação por inundação e nos sistemas de distribuição correntes.

Righes (2000), citando Cauduro (*Apontamentos de irrigação*, IPH/UFRGS, 1996) apresenta um consumo aproximado de 11.513 m<sup>-3</sup>.ha, distribuídos conforme a Tabela 17.

Em trabalho recente desenvolvido para a bacia do Quaraí, AGÊNCIA (2009) apresenta um fluxograma para determinação da demanda de água para a lavoura de arroz na bacia do rio Quaraí para fins de outorga. Este fluxograma é apresentado pela figura 17.

A partir deste modelo, os resultados encontrados sugerem uma necessidade de 8.773,3 m<sup>-3</sup>.ha, considerando-se uma eficiência de irrigação de 60%. A este valor foi acrescido um volume adicional de 1.500 m<sup>-3</sup>.ha, sendo 1.000 m<sup>3</sup> no início de irrigação e 500 m<sup>-3</sup>.ha no final da irrigação para possibilitar maior flexibilidade na condução das lavouras, resultando um valor referencial para outorga de 10.273,3 m<sup>-3</sup>.ha.safra.

Tabela 16 – Consumo de água, rendimento de grãos, eficiência do uso da água, início e período de irrigação de diferentes sistemas de cultivo do arroz irrigado, em dois anos agrícolas (Machado et alli, 2006)

Denominações	Sistemas de cultivos <sup>1</sup>					CV (%)
	SC	CM	PRÉ <sup>3</sup>	MIX <sup>3</sup>	TM <sup>3</sup>	
	Ano agrícola 2000/01					
Consumo de água (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	5.998	5.431	6.216	6.308	6.422	6,42
Rendimento de grãos (kg.ha <sup>-1</sup> )	8.134	7.963	8.283	7.851	8.019	7,32
Eficiência do uso da água (kg. m <sup>-3</sup> )	1,35	1,46	1,33	1,24	1,25	---
Início da irrigação <sup>2</sup>	23	23	3	3	3	---
Período de irrigação (dias)	103	103	124	124	124	---
	Ano agrícola 2001/02					
Consumo de água (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	5.487	5.374	5.852	5.716	5.581	5,31
Rendimento de grãos (kg.ha <sup>-1</sup> )	8.134	7.992	8.181	7.792	7.897	8,34
Eficiência do uso da água (kg. m <sup>-3</sup> )	1,48	1,48	1,39	1,36	1,41	---
Início da irrigação <sup>2</sup>	21	21	3	3	3	---
Período de irrigação (dias)	101	101	121	121	121	---

SC – sistema convencional; CM – cultivo mínimo; PRÉ – pré-germinado; MIX – mix de pré-germinado; TM – transplante de mudas  
 Dias após a semeadura (PRÉ e MIX), emergência (SC e CM) ou do transplante de mudas<sup>TM</sup>  
<sup>3</sup>Volume de água gasto no preparo do solo (1.285 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>)

Tabela 17 – Valores aproximados do consumo de água em lavouras de arroz

Parcelas do Consumo	Consumo (m <sup>-3</sup> .ha)	Consumo (%)
Saturação do perfil	900	8,0
Formação de lâmina	1.000	8,5
Evapotranspiração	5.550	48,0
Percolação	4.020	35,0
Infiltração lateral	43	0,5
Total	11.513	100,0

Fonte: Righes, 2000.

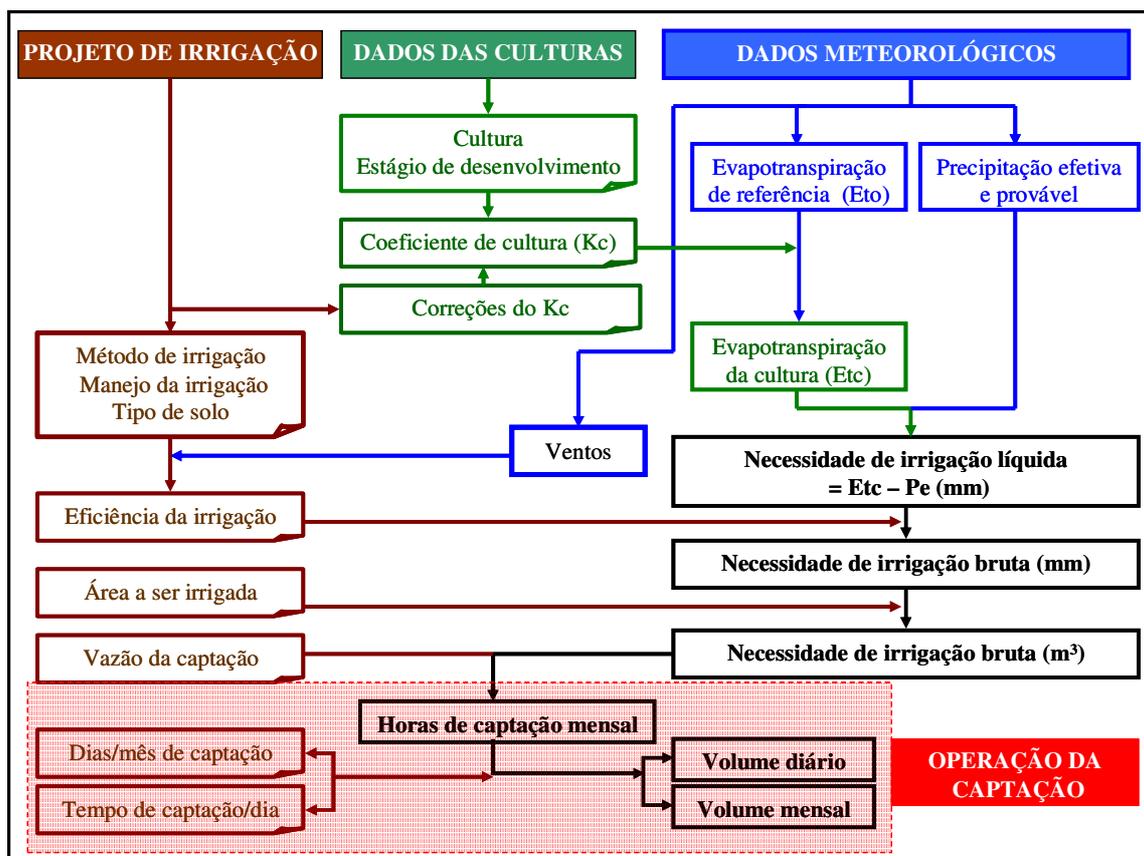


Figura 17 – Fluxograma para a determinação de demanda. Fonte: AGÊNCIA, 2009

Em trabalho desenvolvido em condições de campo, Marcolin et alli (2007,a) apresentam valores de consumo de água entre 7.706 e 8.606 m<sup>-3</sup>.ha em lavouras localizadas em Camaquã e Santo Antonio da Patrulha, com áreas entre 2,82 e 5,74 hectares, respectivamente. O volume consumido foi estimado pela equação de uma comporta atendida por um canal com nível variável e controlado por um linígrafo e pelo uso de um hidrômetro, respectivamente. Os autores colocam diferenças de manejo, de épocas de semeadura, rompimento de taipas e duração do período de irrigação para justificar as diferenças encontradas. Também ressaltam que as perdas por condução não foram consideradas na avaliação. A precipitação pluviométrica, determinada por pluviômetros instalados na lavoura, respondeu por 70% do consumo em Camaquã e 55% em Santo Antonio da Patrulha.

Em outro estudo, Marcolin et alli (2007,b) colocam que o volume de água depende da época do início da irrigação, sendo que quanto mais precoce for a entrada de água, maior será a eficiência do uso da água na lavoura.

Parsinejad, M. e Yazdani, M. R. (2002) afirmam que mais de 50% da água fornecida para a lavoura de arroz irrigado por inundação são perdidos. No entanto, se for considerado que 80% da água drenada pode ser reutilizada, essa eficiência pode ser elevada em 15%. Os autores recomendam para melhorar a eficiência da irrigação que (1) sejam controladas as perdas laterais, (2) seja medida a quantidade de água utilizada; (3) a programação do preparo do solo utilize a água proveniente da precipitação pluviométrica e (4) seja utilizada a aplicação de água periodicamente ao invés de manter a lavoura continuamente inundada.

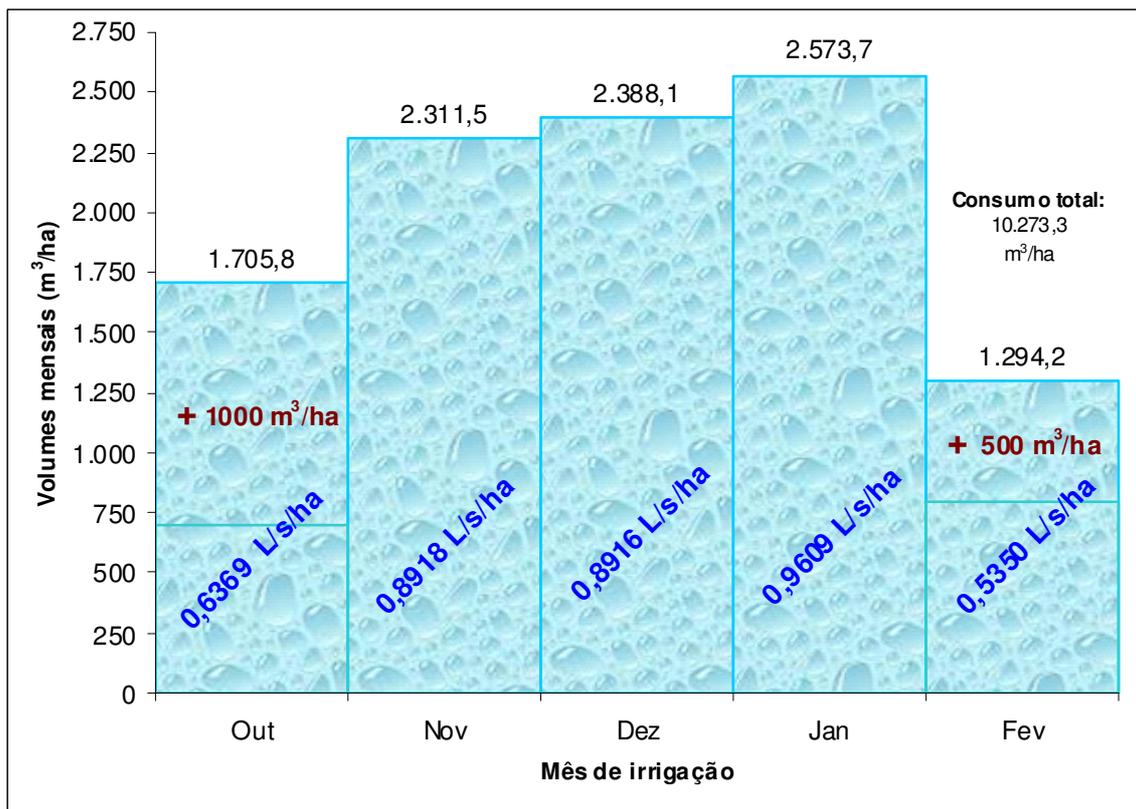


Figura 18 – Distribuição temporal do volume de irrigação da lavoura de arroz na bacia do rio Quaraí, RS. Fonte: AGÊNCIA, 2009

Walker (1999) coloca que as perdas laterais não ocorrem onde as taipas de contorno são reformadas todos os anos, concordando com Cauduro, que aponta uma pequena importância das perdas laterais.

A otimização do manejo da água na lavoura de arroz é difícil por envolver um grande número de fatores (Pereira et alli, 1986). De fato, a capacidade do arroz em se adaptar a diferentes condições de alagamento, faz a cultura ser adotada por um grande número de agricultores. Entre os fatores envolvidos no manejo da irrigação estão:

- i. Fatores biológicos, relacionados com variedades, estágio de crescimento, e desenvolvimento do ciclo vegetativo;
- ii. Fatores ambientais, como tipo de solo, profundidade da lâmina de água, temperatura, radiação solar e outras variáveis climáticas;
- iii. Fatores físicos, relacionados com condições de irrigação, nomeadamente os métodos de distribuição de água, drenagem, dimensão das lavouras, sistematização do terreno;
- iv. Fatores agronômicos, como preparação do solo, método de semeadura, aplicação de herbicidas, fertilizantes, uso de reguladores de crescimento;
- v. Fatores econômicos, principalmente os concernentes a relação entre preço do produto e custo dos fatores aplicados, incluindo os custos de investimentos e os custos da água;
- vi. Fatores sociais, como treinamento dos agricultores, capacidade de gerenciamento dos agricultores e tradições culturais.

Vieira e Telles (2001) citam pesquisa de Telles sobre o cadastro parcial dos irrigantes no estado de São Paulo. Este estudo observa que:

- Os agricultores não dispõem de informações referentes às necessidades de água para as culturas;
- A absoluta maioria das propriedades não faz controle dos seus consumos de água e tem tendência de usar mais água do que é preciso;

- Sistemas de irrigação são implantados sem projeto adequado e são superdimensionados;

- Os irrigantes não dispõem de assistência técnica efetiva; e

- Apenas uma pequena parte dos irrigantes possui algum tipo de treinamento.

O estudo conclui que tal situação gera frequentemente o desperdício de água e energia.

No caso do arroz no Rio Grande do Sul, Fischer (2006) cita que 26,3% dos arroseiros não recebem assistência técnica.

O grau de escolaridade dos produtores de arroz irrigado em geral é baixo, com 65,8% apresentando no máximo o ensino “primário”. A adoção desta antiga nomenclatura pode gerar uma estimativa equivocada da escolaridade, uma vez que o antigo ensino primário contemplava apenas os primeiros quatro anos de ensino. As respostas possíveis da pergunta, de acordo com o quadro de respostas, eram: nenhum (1,1%), primário (64,7%), secundário (22,5%), universitário (10,5%) e pós-graduação (1,1%). Neste caso, para quem cursou apenas o primário, o primário e o ginásio, o primeiro grau ou o ensino fundamental, de forma completa ou incompleta, só haveria uma única resposta possível.

Os anos de experiência do agricultor com o arroz irrigado é normalmente elevado. Com 30 e mais anos de experiência, existiam, em 2005, 2706 produtores, representando 32,6% do total. Com menos de 10 anos de experiência, 20,4% dos produtores.

Estes valores reforçam a dificuldade já citada sobre a correta gestão da água na lavoura de arroz.

#### 4.8 - Sistemas coletivos de irrigação no Rio Grande do Sul

Os projetos coletivos de irrigação no Rio Grande do Sul são destinados, prioritariamente, à exploração da lavoura de arroz. Em número, a maior parte destes sistemas é privada e atende a poucos usuários cada. As poucas intervenções governamentais respondem por menos de 5% da área irrigada média anual e têm um formato semelhante, sendo alimentadas por barragens localizadas a montante e em cota mais elevada, evitando-se ao máximo o uso de recalque mecânico. A distribuição da água é realizada por um sistema de canais em terra, sem revestimento, com estruturas simples de controle. O fornecimento de água nesses projetos é realizado ou por semi-demanda ou por vazão contínua.

Na concepção técnica usual de projetos de irrigação atendidos por sistemas de canais de distribuição, uma especial atenção é dada ao controle das vazões que são derivadas para canais secundários e terciários e para cada irrigante. O objetivo da operação de um sistema de irrigação é a administração, distribuição e fornecimento de água para irrigação, de forma racional, eficiente e de acordo com as reais necessidades dos cultivos, bem como dirigir o pessoal do projeto e gerenciar adequadamente os recursos, a fim de que seja possível alcançar os objetivos do projeto.

Em número, a maior parte destes sistemas é privada e atende a poucos usuários cada. Muitas das soluções hidráulicas encontradas nos projetos privados de irrigação coletivos no Rio Grande do Sul, na realidade, só se justificam pela escassez da água ou por margens de produção atrativas da lavoura de arroz, o que ocorre de forma eventual e imprevisível. Nesta situação estão canais que necessitam de mais de duas instalações de recalque, canais de dupla função, reservatórios em áreas planas e obstrução de vertedores, rios e arroios. Os sistemas públicos de irrigação, mesmo que resultantes de projetos de engenharia, também refletem essa lógica.

Os projetos públicos gaúchos têm um formato semelhante entre si, sendo alimentados por barragens localizadas a montante e em cota mais elevada, evitando-se ao máximo o uso de recalque mecânico, que é utilizado normalmente para a devolução de águas drenadas para o sistema. Exemplos destes projetos abastecidos por barragens: Perímetro de Irrigação do Arroio Duro (década de 60), o Perímetro de Irrigação da

Barragem do Arroio Capané (início das obras em 1947, início da irrigação 1948 (Fagundes, 1997)), o Sistema de Irrigação do rio Vacacaí (início das obras em 1990, início da irrigação 1994), o Sistema de Irrigação do Arroio das Canas (início das obras em 1990, início da irrigação 1994), o Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro (início das obras em 1979, início da irrigação 1982) e o sistema de São Marcos ou Sanchuri (início das obras em 1943, início da irrigação 1946), além de um número considerável de sistemas de irrigação implantados e controlados por particulares.

A distribuição da água é realizada por um sistema de canais em terra, sem revestimento, com estruturas simples de controle. No geral, na irrigação de arroz as estruturas de controle dos canais são precárias, muitas vezes formadas por aterro, pilhas de sacos de areia ou tábuas dispostas transversalmente na seção do canal, que são denominadas regionalmente de trancas. Já as tomadas de água das parcelas irrigadas são comportas metálicas ou de madeira, ou são simples aberturas nas taipas de contorno com o uso de pás de corte, o que torna difícil não apenas um manejo eficiente, como a própria classificação da lógica ou da estratégia de gestão para o conjunto dos projetos de irrigação. No caso dos distritos públicos, estas estruturas são representadas basicamente por comportas metálicas.

Existindo um reservatório ou uma estrutura de derivação e uma área a irrigar é necessário existir uma regra operativa que harmonize o volume previsto como disponível no início do período de plantio com o plano agrícola proposto pelos irrigantes.

Um fator complicador no caso gaúcho é a rotação de áreas, com a adoção de pousio, o que faz com que as áreas atendidas por cada canal mudem todos os anos. No sistema do arroio Duro, é feita uma programação anual dependendo do volume armazenado na barragem localizada a montante e na capacidade de bombeamento recentemente construída junto ao rio Camaquã. A partir disto, é realizado um rateio desse volume entre os irrigantes.

Destes, o projeto foca especificamente o projeto do Arroio Chasqueiro.

O Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro localiza-se no município de Arroio Grande, na bacia da Lagoa Mirim. Foi implantado pela extinta Superintendência de Desenvolvimento da Região Sul – SUDESUL, no início da década de 80. O projeto previa uma diversidade de culturas irrigadas, com predomínio do arroz (4.000 hectares/ano), o que

não foi observado, sendo que atualmente o sistema atende cerca de 7.000 hectares de arroz/ano.

O sistema de canais original previa a construção de 40.220 m de canais em terra, com 37 tomadas de água (Ministério do Interior, 1980). O projeto era considerado um piloto para um plano mais abrangente na bacia da Lagoa Mirim, dentro de um Acordo de Cooperação Binacional, que incluiu também a construção da eclusa do Canal de São Gonçalo, mas que foi parcialmente abandonado a partir de 1990, com a extinção da SUDESUL por ato do Governo Federal.

Um ponto interessante do projeto do sistema de canais foi a manutenção de uma mesma seção transversal ao longo de toda a extensão de cada canal, permitindo a condução de uma ampla faixa de vazões, de acordo com a demanda dos irrigantes atendidos por cada estrutura. Esta situação exige, evidentemente, um investimento maior na fase de implantação, mas é mais adequada para projetos sem redistribuição fundiária, pois não há como obrigar os proprietários a utilizar a água. No caso do sistema de canais dos projetos do Arroio das Canas e do rio Vacacaí (VAC 04, VAC 06 e VAC 07), no município de São Gabriel, implantados no início da década de 90, o critério foi de redução da seção transversal ao longo da extensão do canal, fixando uma vazão máxima derivada em cada tomada de água. Apesar de reduzir o custo inicial de implantação do canal, esta solução demonstrou-se inadequada a partir da crise da lavoura de arroz nos anos seguintes à inauguração do sistema, quando vários produtores desistiram da lavoura, e também nos anos em que houve um acréscimo por demanda de novos proprietários localizados no fim dos canais, que não puderam ser atendidos por falta de capacidade de condução desta estrutura.

No sistema do arroio Chasqueiro, a tendência é que cada irrigante mantenha uma área uniforme ao longo dos anos, alterando a sua localização dentro da propriedade.

As tomadas de água dos irrigantes nos perímetros são basicamente comportas metálicas que regulam orifícios, comportas de madeira ou tubulações. Nas lavouras em geral, podem ser simples aberturas nas taipas de contorno com o uso de pás de corte, o que torna difícil não apenas um manejo eficiente, como a própria classificação da lógica ou da estratégia de gestão para o conjunto dos projetos de irrigação.

Pode-se, preliminarmente, definir que a lógica desses projetos coletivos é o comando por montante, tendo em vista que o manejo da tomada de água da barragem ou da comporta que alimenta um canal é a principal forma de alteração da vazão. A partir da alteração da vazão, as alterações necessárias nos reguladores vão sendo executadas, ou de montante para jusante ou no sentido oposto.

Os irrigantes, na maior parte dos casos privados, podem exercer o controle local, alterando a abertura das bocas. No caso dos perímetros públicos, o controle local é exercido ou controlado pelo canaleiro.

Seguindo a tendência de que a vazão retirada assuma um valor contínuo com o passar do tempo e que as manobras realizadas pelos irrigantes serão, na maior parte do tempo, no sentido de aumentar a retirada, as bermas dos canais projetados seguem a declividade do fundo, em uma concepção de obra mais econômica. Evidentemente, nesse caso, as perdas por manobras equivocadas ou não planejadas podem ser consideráveis, pois inexistem volumes de reserva dentro dos canais, ou seja, os canais não conseguem fornecer instantaneamente um aumento de vazão, por uma solicitação não planejada, bem como não conseguem absorver um excesso de vazão, pela desistência ou redução de uma retirada previamente acordada.

A definição do controle da irrigação no distrito do Chasqueiro e nos outros sistemas públicos do Rio Grande do Sul, no entanto, não é tão evidente. Para o controle ser realizado por montante, o que seria compatível com o comando por montante, o gestor do sistema deveria definir as vazões que seriam entregues em cada trecho do canal. A partir disto, as estruturas de controle seriam abertas de montante para jusante, de acordo com o tempo de resposta do sistema. A variável a ser controlada é o nível de água a montante das estruturas de controle, que deve ficar em um nível tal que atenda as tomadas de água também localizadas a montante. Para que isso aconteça em um sistema operado manualmente, o gestor deve definir com os canaleiros quando irá liberar a água na comporta do barramento e qual será a vazão liberada. Percebe-se, então, que a variável ideal a ser controlada seria a vazão e não o nível, uma vez que o canal não é revestido e ao longo do tempo a relação *vazão x profundidade* tende a se alterar, seja por colmatação do fundo e das laterais dos canais, reduzindo a infiltração, seja pelo motivo oposto, de aumento de infiltração pelo

processo de limpeza do canal, ou, ainda e de forma mais evidente, pela alteração do perfil do canal por erosão ou sedimentação de materiais grosseiros.

No entanto, o controle por jusante também é possível e ocorre quando o irrigante solicita a abertura ou fechamento da comporta fora da programação inicialmente proposta. No caso de uma redução de consumo em um trecho da rede, o gestor é obrigado a solicitar que o canaleiros operem as comportas no sentido de diminuir o fluxo naquela direção, ao mesmo tempo em que opera a tomada de água da barragem. Para a parte da água que já estava circulando no sistema, não há opção de recuperação e este volume será acumulado ao longo do trecho regulado. Como não há estruturas de limitação do nível ao longo de todo o sistema de canais, este excesso será desviado para as lavouras, por conta do aumento de carga relacionado com a elevação do nível. Esta “perda” torna-se de difícil mensuração, pois será distribuída por uma área inundada e resultará em alteração de uma variável que não é controlada usualmente de forma precisa, que é a altura da lâmina na lavoura.

No caso oposto, de aumento da demanda não planejada motivado pela abertura de uma ou mais tomadas de água parcelares, o gestor e os canaleiros atuarão no sentido de irem abrindo as comportas necessárias para atender o trecho em questão. Nesta situação, o nível no canal irá variar de montante para jusante, reduzindo a profundidade até que a onda gerada pelo aumento da vazão liberada na barragem chegue e estabeleça uma nova situação de estabilidade. Da mesma forma que a situação anterior, a vazão das tomadas parcelares irá se alterar, para mais ou para menos, de acordo com o nível da água no canal. As lavouras então receberão mais ou menos água do que o previsto, sendo esta diferença de difícil determinação.

A variável de regulação sempre é o nível da água, já que não há estruturas de medição de vazão (exceção feita no trecho inicial do sistema de canais do arroio Chasqueiro, em que há uma calha Parshall). Quando o nível controlado é o de jusante de uma estrutura, a gestão destes perímetros insere-se na situação descrita por Rijo (1993, a), na qual esta situação é naturalmente ineficiente.

As épocas mais propícias para a alteração do controle de montante previsível para um indesejado controle de jusante são o início e o final da irrigação, que são as fases nas

quais os agricultores têm um maior grau de liberdade de decisão quanto às práticas e aos cronogramas que serão obedecidos.

Antes do plantio, no caso dos anos com primaveras secas, alguns agricultores podem solicitar um volume de água para o umedecimento adequado do solo. Se for adotado o plantio pré-germinado, há a necessidade da formação de uma lâmina para o preparo final do solo, seguida de um período sem consumo de água. Essas situações particulares no meio de um sistema coletivo geram a necessidade de um planejamento minucioso por parte do gestor, que poderá ser abandonado frequentemente por interferências externas e não previsíveis, como a ocorrência de precipitações intensas (quando os agricultores tendem a fechar as tomadas de água), ou de períodos secos mais prolongados na fase de implantação da lavoura. Na época final da lavoura, a forma de preparar a lavoura para ser colhida irá variar de produtor a produtor. Assim, a supressão da irrigação será solicitada em datas definidas pelo interesse do produtor, sendo uma variável sem controle por parte do gestor.

A distribuição pode ser considerada como sendo de vazão fixa, com frequência anual. Observa-se, na realidade, que a vazão inicial é mais elevada, reduzindo-se à medida que as perdas por infiltração estabilizam. A lógica de aumento ou redução da vazão depende do manejo da lavoura, que pode ser alterada repentinamente na ocorrência de pragas ou pela definição da necessidade de adubação de cobertura, entre outros tratamentos culturais, bem como acidentes por ocorrência de chuvas intensas, que podem exigir a interrupção da irrigação por um curto período ou a exigência de um volume maior de água para retomar a condição de inundação.

O controle da água na parcela é realizado pela abertura ou fechamento de *bocas* no lado oposto ao da entrada da água, retirando a água para os drenos ou esgotos da lavoura. Em muitas situações, o esgoto de uma lavoura será o canal de irrigação de outra parcela, sendo que não são raros os casos de bombeamento da água dos esgotos para alimentar canais de irrigação mais elevados ou diretamente outras parcelas. A complexidade desta lógica de operação, aliada à simplicidade das estruturas e o controle essencialmente manual, resulta em uma baixa eficiência no uso da água.

#### 4.8. Sistemas de irrigação coletivos em Portugal

De acordo com PORTUGAL (s.d.), existem 54 sistemas coletivos públicos de irrigação no continente português, dos quais 25 são ou foram de responsabilidade do Estado (Tabela 18).

Segundo Raposo (1996) o cultivo do arroz irrigado em Portugal é praticado principalmente nos seguintes projetos de irrigação:

- Vale do Sado
- Vale do Sorraia;
- Divor e Campilhas e São Domingos;

A cultura do arroz é um caso especial na agricultura portuguesa. Raposo (1996) afirma que o arroz é a cultura com a *menor produtividade específica* em relação à água, isto é, com o menor valor de produção por m<sup>3</sup> de água utilizado na irrigação. Por este critério, essa cultura deveria ser abandonada em benefício de outras mais produtivas. No entanto, aspectos sociais e econômicos mantêm a exploração do arroz no país. Entre estes aspectos, Raposo (1996) cita:

- O arroz é uma cultura tradicional nos perímetros públicos, nos quais apresenta uma produtividade comparável com as melhores do mundo;
- Utiliza terras com muitas limitações, como os solos muito impermeáveis e argilosos, com graves problemas de drenagem e com teores de sais relativamente elevados;
- Tem interesse estratégico para Portugal, que é um importador do produto.

As necessidades de água na lavoura em Portugal são apresentadas na Tabela 19, para as diferentes regiões produtoras. Observa-se que os consumos aumentam com o aumento da latitude, devido à necessidade de um maior controle térmico na lavoura.

Tabela 18 - Aproveitamentos Hidro-agrícolas em exploração ou em execução\*, por região administrativa

<b>CENTRO</b>	1. Alfaiates	2. Calde	3. Cerejo
	<i>4. Cova da Beira</i>	<i>5. Idanha-a-Nova</i>	6. Matança
	<i>7. Mondego</i>	8. Mortágua	9. Rabacinas
	10. Toulica	<i>11. Vale do Liz</i>	12. Vermiosa
<b>LISBOA VALE DO TEJO</b>	<i>1. Alvega</i>	2. Alvorniha	3. Carril
	<i>4. Cela</i>	<i>5. Lezíria Vila Franca de Xira</i>	<i>6. Loures</i>
	7. Óbidos	<i>8. Paul de Magos**</i>	<i>9. Vale do Sorraia</i>
<b>ALENTEJO</b>	1. Apartadura	<i>2. Caia</i>	<i>3. Campilhas e Alto Sado</i>
	4. Corte Brique	5. Crato	<i>6. Divor</i>
	7. Fargela	<i>8. Lucefécit</i>	<i>9. Minutos</i>
	<i>10. Mira</i>	<i>11. Odivelas</i>	12. Pardiela
	13. Vale do Sado	14. Veiros	<i>15. Vigia</i>
	<i>16. Roxo</i>	17. Xévorá	
<b>ALGARVE</b>	1. Aljezur	2. Almada do Ouro	<i>3. Alvor</i>
	4. Barlavento Algarvio	5. Malhada de Péres	6. Pessegueiro
	7. Pinhal	<i>8. Silves Lagoa e Portimão</i>	<i>9. Sotavento Algarvio</i>
	10. Vale Beliche	11. Vale do Loulé	
<b>NORTE</b>	<i>1 Burgães</i>	<i>2. Chaves</i>	<i>3. Macedo de Cavaleiros</i>
	4. Prada	5. Vilarça	

(\*) Os aproveitamentos destacados são de responsabilidade do Estado. (\*\*) O aproveitamento Paul de Magos é administrado em conjunto com o Vale do Sorraia

Fonte: PORTUGAL (s.d.)

Tabela 19 – Necessidades hídricas anuais do arroz em diferentes regiões produtoras de Portugal

Região	Necessidades hídricas (m <sup>-3</sup> .ha)
Vale do Vouga	30.000
Vale do Mondego	25.000
Vale do Tejo (inclui Sorraia)	18.000
Caia	16.000
Vales do Sado e do Mira	15.000
Algarve	12.000

Fonte: Raposo (1996)

- Vale do Sorraia

A *Obra de Rega do Vale do Sorraia* beneficia 16.351 hectares. Destes, foram irrigados em 2007 uma área de 12.266 hectares. A cultura do arroz ocupou 4.297 hectares com registo do volume de água fornecido e 98,2 hectares sem registo. O arroz é cultivado principalmente nas áreas mais a jusante do perímetro, por conta das condições de solo e clima.

A área irrigada é atendida por um sistema de dois reservatórios de acumulação (Montargil e Maranhão) e complexa rede de distribuição que abastece as duas margens do rio Sorraia, afluente do rio Tejo. Um outro sistema de menor porte –Paul de Magos, com 397,4 hectares irrigados – integra a área de atuação da Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia, responsável pela operação e manutenção das estruturas.

Os consumidores de água são a agricultura e a indústria (1,9% do total do volume fornecido em 2007). A estrutura tarifária é bem definida e registrada. Para a orizicultura, a taxa de exploração e conservação em 2007 foi de € 0,0111/m<sup>3</sup>, sendo este o maior valor da série de 1959 a 2007, atualizada a valores de 2007.

O sistema de distribuição conta com comportas hidromecânicas e módulos parcelares, que garantem o controle da vazão entregue aos irrigantes. O comando é realizado por montante, assim como o controle.

A medição dos volumes entregues aos agricultores é realizada na quase totalidade do perímetro – 97,8% dos irrigantes. Com isto, é possível acompanhar a evolução do consumo de água médio unitário. Em 2007, este valor foi de 12.449,3 m<sup>3</sup>.ha, valor que foi adotado para a cobrança das áreas não controladas.

Os valores das taxas unitárias, dos consumos de água, da área irrigada e do total pago por hectare é apresentado na Tabela 20, a seguir.

- Baixo Mondego

O perímetro do vale do Mondego é abastecido por um sistema de comportas situado dentro do rio Mondego, a jusante da cidade de Coimbra. A partir deste, um sistema de canais domina o vale irrigável.

O perímetro apresenta uma situação distinta dos demais. Localizado ao norte de Lisboa, entre a cidade de Coimbra e o Oceano Atlântico, atende a uma população maior de irrigantes – 2.660 agricultores, em uma área de 7.845 hectares, o que resulta em uma área média irrigada inferior a 3 hectares (Associação de Beneficiários de Obra de Fomento Hidroagrícola do Baixo Mondego, 2008).

O perímetro de rega *equipado* é menor, somando 5.332,5 hectares. Destes, 5.243,4 hectares tiveram solicitação para fornecimento de água em 2007. O total de agricultores beneficiários em 2007 foi de 1.604, situados em 5.139 prédios, designação que engloba as seguintes situações:

- Um lote explorado por um agricultor;
- Parte de um lote dividido entre dois ou mais agricultores;
- Vários lotes explorados por um único agricultor.

Tabela 20 – Arrecadação de recursos no Vale do Sorraia por volume consumido e por hectare

Ano	Volume consumido (m <sup>-3</sup> .ha)	Taxa (€.m <sup>-3</sup> )	Área irrigada (ha)	Taxa cobrada (€.ha <sup>-1</sup> )
1959	25,789.40	0.00007		1.85
1960	28,894.50	0.00008		2.45
1961	31,333.40	0.00009		2.96
1962	29,942.00	0.00009		2.84
1963	27,769.30	0.00010		2.77
1964	26,691.40	0.00011		2.93
1965	29,090.80	0.00011		3.19
1966	26,045.90	0.00011		2.87
1967	27,303.00	0.00015		4.10
1968	25,198.60	0.00015		3.81
1969	22,233.60	0.00015		3.37
1970	24,384.80	0.00015		3.63
1971	22,673.20	0.00017		3.93
1972	23,448.80	0.00020		4.68
1973	21,432.00	0.00020		4.25
1974	21,159.30	0.00026		5.53
1975	20,218.60	0.00037		7.50
1976	11,993.00	0.00050		5.98
1977	19,848.80	0.00049		9.76
1978	17,988.60	0.00049		8.85
1979	16,905.50	0.00084		14.22
1980	19,049.70	0.00124		23.67
1981	14,996.10	0.00199		29.90
1982	17,103.50	0.00198		33.88
1983	14,003.80	0.00299		41.92
1984	15,207.60	0.00347		52.81
1985	14,428.90	0.00408		58.86
1986	15,945.90	0.00471		75.05
1987	15,259.90	0.00499		76.15
1988	14,960.10	0.00538		80.47
1989	16,191.30	0.00583		94.32
1990	17,397.70	0.00632		110.02
1991	17,277.80	0.00712		123.03
1992	15,356.20	0.00395		60.72
1993	(*)	(*)	(*)	(*)
1994	13,009.20	0.00849		110.46
1995	16,108.00	0.00898		144.63
1996	13,796.60	0.00949	4605	130.89
1997	14,531.00	0.00947	4299	137.60
1998	13,547.70	0.00948	3949	128.42
1999	14,168.40	0.00899	3641	127.31
2000	12,841.30	0.00898	3284	115.36
2001	13,115.10	0.00977	3552	128.15
2002	15,524.70	0.00973	3570	151.13
2003	12,789.00	0.00977	3791	125.00
2004	11,406.60	0.01068	3735	121.81
2005	12,765.00	0.01063	4110	135.71
2006	11,756.50	0.01061	4213	124.72
2007	12,449.30	0.01103	4630	137.26

(\*) em 1993, devido à forte seca, não houve fornecimento regular de água, nem medição dos volumes consumidos

Em 2007, a área média irrigada por agricultor foi igual a 4,14 hectares, a área média por prédio, 1,02 hectares e o número de prédios por beneficiário igual a 4,06. As explorações com área inferior a 1 (um) hectare representaram 51,2 % do total, o que confirma uma intensa fragmentação da área irrigada.

O sistema equipado significa que a distribuição é realizada por meios de hidrantes em rede de baixa pressão, o que dificulta muito ao controle do volume distribuído. Os hidrantes são localizados em pequenas chaminés de equilíbrio na cabeceira dos lotes, sendo que o nível máximo nestas chaminés é o nível estático no canal. Os registros de gaveta atuais não permitem o cálculo do volume distribuído e a colocação de medidores de volume significaria um investimento de €500/unidade, o que é excessivo, frente aos valores cobrados pela água.

A distribuição de água é feita por pedido e o arroz é irrigado principalmente à noite. Quando no mesmo setor de irrigação ocorre o plantio de milho e arroz simultaneamente, fica impedida a rotação por canal distribuidor ou secundário.

A situação de controle neste perímetro é também distinta dos demais. Segundo o relatório do ano de 2007, *devido à falta de regulação do Canal Condutor Geral, o nível de água junto às tomadas de água para as regadeiras tem flutuações muito acentuadas. Por este motivo, não se pode fazer qualquer correspondência minimamente válida entre pedido de água e caudal fornecido e não podem ser estimados os consumos de água de rega.*

*O pedido total de água foi de 71,5 milhões de m<sup>3</sup> (...) o volume unitário de pedido foi de aproximadamente 13.500 m<sup>3</sup>.*

O arroz ocupou 1.796 hectares, sendo superado pelo milho (2971,2 hectares). O milho ocupa os solos mais arenosos e o arroz os solos salinos e mais argilosos.

Os valores cobrados são distintos para as diferentes situações existentes, conforme as Tabelas a seguir. O valor da irrigação para cada irrigante é definido antes do plantio, na forma de um orçamento. A inadimplência é insignificante, sendo que em 2007 foi menor do que 0,5% dos irrigantes.

Existem, ainda, duas outras situações de cobrança, definidas de acordo com a existência ou não de facilidades e de garantia do fornecimento de água, que são:

- Quinta da Foja – € 2,5 /ha
- Zona do Bloco de Maiorca – € 26,33 /ha

Para um consumo igual ao valor médio (13.500 m<sup>3</sup>.ha), o total a ser pago seria de 92,75 €/ha para o sistema atendido por hidrantes (Escala 2 A) e de 47,25 €/ha para os prédios externos ao perímetro de rega (Escala 5), que são valores muito superiores aos dos outros escalões. No entanto, a água entregue pelos hidrantes está sob baixa pressão, mas acima do nível do solo, sendo facilmente distribuída na lavoura e sem custos de bombeamento.

Tabela 21– Valores da taxa de exploração e conservação aplicadas no perímetro de rega equipado ou áreas próximas do Baixo Mondego

Escalão	Valor	Âmbito
1	50 €/ha	Prédios deixados em pousio
2 A	79 €/ha + 0,0025 €/m <sup>3</sup> , acima de 8.000 m <sup>3</sup> .ha	Prédios de São Martinho e São João em que se faça o uso de hidrantes
2 B	70 €/ha	Prédios de São Martinho e São João em que não se faça o uso dos hidrantes
3	79 €/ha	Todos os prédios não abrangidos pelos outros escalões
4 A	115 €/ha	Prédios ocupados com estufas, em que se faça uso das infra-estruturas de rega fora da campanha normal (abril a outubro)
4 B	86 €/ha	Prédios não ocupados com estufas, em que se faça uso das infra-estruturas de rega fora da campanha normal (abril a outubro)
5	0,035 €/m <sup>3</sup>	Prédios exteriores ao perímetro de rega, com fornecimento de água a partir da rede de São Martinho

Fonte: Associação de beneficiários da obra de fomento hidroagrícola do baixo Mondego - Relatório anual 2007 – (\*) 1 aguilhada = 4 m<sup>2</sup>

Segundo o responsável técnico pelo perímetro, não são consideradas perdas no sistema, pois os excedentes de água nos canais e a drenagem na área de montante abastecem o leito abandonado do rio Mondego, também gerenciado pela Associação e cujas águas também são tarifadas.

O valor da água é definido previamente, pela confecção de um orçamento para a gestão da irrigação naquele ano.

Tabela 22 – Valores por unidade de área nos Campos de Pranto (€/aguilhada\*)

<b>Campo</b>	<b>Escalão A</b>	<b>Escalão B</b>
Canal de Fora	3,46	1,15
Amieira	2,63	0,88
Paul	1,79	-
Ribeira da Telhada e Paul do Quinto	3,02	1,00
Calçada	1,38	0,46
Velho e Marnoto	1,50	0,50
Porto de Ferro	1,60	0,53
Conde	1,97	0,66
Frade	2,05	0,68
Quinta do Seminário	1,09	-
Individuais	0,37	0,12

Fonte: Associação de Beneficiários da Obra de Fomento Hidroagrícola do Baixo Mondego - Relatório anual 2007 – (\*) 1 aguilhada = 4 m<sup>2</sup>

Tabela 23 – Valores cobrados por área no Vale do Arunca (€/aguilhada)

<b>Escalão</b>	<b>Âmbito</b>	<b>(€/aguilhada)</b>
1	Terrenos não cultivados no período primavera-verão	0,00
2	Terrenos cultivados no período primavera/verão, mas sem rega	0,55
3	Terrenos cultivados no período primavera/verão com rega	1,62

Fonte: Associação de Beneficiários da Obra de Fomento Hidroagrícola do Baixo Mondego - Relatório anual 2007 – (\*) 1 aguilhada = 4 m<sup>2</sup>

O sistema de gestão é baseado na distribuição a pedido e o fornecimento da água para irrigação do arroz é realizada apenas à noite. No caso de canais que irriguem apenas arroz, é possível realizar uma distribuição por rotação. Quando o mesmo canal atende lavouras de milho e arroz, isso não é possível e é adotada uma distribuição contínua, atendendo as lavouras de milho durante o dia e as de arroz à noite.

- Vale do Sado

O perímetro do vale do Sado localiza-se ao sul de Lisboa, no Concelho de Alcácer do Sal, desenvolvendo-se até o litoral. Por isso, apresenta solos salinos junto ao estuário do Sado, em áreas que foram drenadas (sapais) para permitir a sua ocupação agrícola. O teor de sais no solo limita a exploração destas áreas à cultura do arroz irrigado. Esta situação contribui para uma peculiaridade do sistema: o volume de água destinado às porções de jusante, mais próximas ao litoral e sob a influência das marés, são maiores do que as de montante, de forma a possibilitar a lavagem dos sais. Assim, existem dois valores limites, antes que seja aplicada uma sobretaxa ao consumo: 14.000 e 18.000 m<sup>-3</sup>.ha.

O sistema de distribuição conta com comportas hidromecânicas e módulos parcelares, que garantem o controle da vazão entregue aos irrigantes. O comando é realizado por montante, assim como o controle.

Existem dois reservatórios a montante e um complexo sistema de canais, que se interligam e avançam pelas cotas mais elevadas, dominado a várzea do Sado. Atualmente, o projeto encontra-se em fase de modernização, sendo prevista a substituição dos reguladores que controlam a vazão entregue aos canais secundários por comportas planas operadas à distância por um sistema autômato, com regulação proporcional e integral (PI).

As estruturas mostram sinais de desgaste pelo tempo de uso, sendo que o sistema conta mais de 50 anos em operação ininterrupta, mas o sistema de distribuição com controle por comportas hidromecânicas funciona dentro do esperado. O processo de modernização é necessário para modificar a lógica de distribuição, que passará a ser por demanda e controle por jusante.

Completam o sistema duas centrais hidrelétricas, localizadas junto aos reservatórios.

O sistema é gerenciado pela Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sado. A partir das demandas de água, é realizado um planejamento de irrigação, que vai sendo cumprido de acordo com as solicitações dos irrigantes. No caso de uma demanda menor do que a projetada, os excessos de água são realocados entre os demais irrigantes, sendo este balanço realizado constantemente.

#### **4.9.- Estudos sobre vertedores e orifícios como medidores de vazão em canais de irrigação**

*A medição precisa da água de irrigação é de fundamental importância para um bom manejo da irrigação, assim como o entendimento perfeito de alguns princípios primários relativos a essa mensuração.  
Hanna, 1913, apud ESTADOS, 1918*

##### **4.9.1.- Importância da medição de vazão**

A necessidade de determinação de vazão em canais de irrigação assume cada vez maior importância, dada as novas legislações que, em diferentes países, estabelecem a cobrança pela água utilizada na irrigação.

A cobrança por volume efetivamente consumido exige, evidentemente, um rigor na definição da quantidade de água entregue a cada irrigante.

Mayer (1945) coloca textualmente:

*Atinge-se a máxima perfeição de funcionamento de uma rede de distribuição quando, realizadas as demais condições, se consegue ainda estar em circunstâncias de conhecer com facilidade e rapidez, em qualquer ocasião, em qualquer órgão do sistema e em qualquer seção, o caudal que passa por essa seção. Se assim suceder, não só se fica em condições de estabelecer que o regante pague apenas a água que recebe, como também se torna possível vigiar e avaliar as perdas de água, descobrir derivações abusivas e, de um modo geral, todas as irregularidades de funcionamento que se produzam na rede. Para este efeito, é preciso instalar na rede de distribuição aparelhos medidores, ou contadores, de que há grande número de tipos, baseados em princípios diversos.*

Villasante (1995) coloca que *a conveniência de conhecer a quantidade de água que se distribui e aplica nas redes de rega é evidente*. Tal afirmação, por mais óbvia que pareça, não é a realidade em muitos projetos de irrigação coletiva.

Wilson (1911) afirma que

*That water flowing in open canals **may be** sold by quantity it is necessary that the volume admitted to the canal may be **readily ascertained at any time**, and that the method of admission may be so regulated that it cannot be tampered with. As **no method has yet been devised for easily and cheaply accomplishing this**, water is almost universally disposed of by some means **than by quantity**.*

O fato do texto acima ter sido publicado em 1911, praticamente há um século, não significa que o mesmo esteja desatualizado em grande parte dos projetos coletivos de irrigação no Brasil.

Gurovich (2001) coloca que a determinação da vazão em canais de irrigação serve para assegurar a manutenção dos programas de entrega de água aos irrigantes, determinar as quantidades de água distribuída, descobrir anomalias no consumo e estimar e averiguar as perdas que se observam na condução. A esses objetivos, deve-se agregar a satisfação das necessidades reais e os direitos legais, assim como criar uma base lógica de estimativa para a cobrança da água.

Ainda segundo Gurovich (2001), a distribuição eficiente deve acompanhar o grau de precisão que vem se obtendo com o avanço do conhecimento sobre as propriedades do solo e da planta, que definem o momento e a quantidade precisa de água a ser fornecida, com uma máxima eficiência de irrigação e um dano mínimo ao solo.

Os pontos mais adequados para a determinação da vazão (Gurovich, 2001) são na saída da água da barragem que alimenta o sistema, nas cabeceiras dos canais, em pontos estratégicos e nas derivações laterais dos canais e nas tomadas de água parcelares.

Em sistemas com muitas saídas de água, a medição de vazão em cada ponto de retirada de água necessitará de uma organização muito custosa, com contratação e treinamento de pessoal para realizar a medição. O fator custo assume importância maior nos casos onde a rentabilidade é baixa. Para estes casos, dispositivos de medição simples, mesmo que com menor precisão, devem ser preferidos. A medição simplificada da velocidade apresenta como inconvenientes a incerteza sobre a distribuição das velocidades no perfil e, ainda, da alteração das características da seção.

As condições em sistemas de irrigação são muito diferentes das medições de vazão para estudos hidrológicos ou pesquisas hidráulicas. A repetição de medições convencionais requer treinamento e dedicação dos operadores e não previnem o mau funcionamento das estruturas de controle.

Heras (1981) afirma que o controle das vazões circulantes pelos canais tem grande interesse para a exploração do mesmo, já que é necessário saber a vazão na cabeça do canal e, ao longo do mesmo, nos trechos onde há variação desta vazão, seja pela existência de tomadas de água ou por influência de obras que gerem perda de carga. Na cabeça do canal, se as comportas são de admissão superior ao vertedor, pode-se calcular a vazão ingressante em função da lâmina vertente; no caso mais frequente, de admissão inferior, pela elevação das comportas, a precisão desta estimativa é menor, sendo função do nível a montante e da abertura da comporta, sendo necessário fazer uma calibração por meio de medidas diretas. A jusante, nos trechos do canal em que seja necessário, devem ser instalados dispositivos de controle adequados.

O controle da vazão de cada canal secundário ou terciário em um sistema de canais não é realizado comumente.

ESTADOS (1972) coloca que *a necessidade corrente de utilizar-se toda a água disponível, mesmo em regiões úmidas, e o aumento de custos para desenvolver novos recursos hidráulicos torna imperativo que a água seja aproveitada economicamente e sem desperdícios. Isto não se pode lograr se não se utilizam sistemas de medição.*

O Departamento do Interior do governo norte-americano é responsável por uma série de publicações e estudos sobre a irrigação e seu manejo. Em um dos mais antigos destes trabalhos (ESTADOS, 1918, edição de um estudo de 1913), é definida a necessidade

de medir a água utilizada na irrigação de maneira adequada. Embora não seja citada a finalidade específica desta medição, a leitura do texto cita a necessidade de uniformização das unidades de medidas utilizadas nos estados do Oeste americano, denotando uma preocupação com a possibilidade de comparação entre os consumos entre os irrigantes.

#### **4.9.2.- Medidores de vazão**

##### *MEASUREMENT OF WATER.*

*A meter for measuring water for irrigation purposes must be cheap and simple in construction and must cause little loss of head. No machine has yet been invented that fulfills all these conditions. The great difficulty is the fluctuation of the level of the water in the main canal.*

*It is believed, however, that a machine can be devised to fulfill these conditions that will give a close approximation to the quantity of water used. When the same method of measurement is used toward all the irrigators they will be treated on perfect equality and no one will have good reason to complain of injustice more than another.*  
(Flynn, 1892)

Um medidor de vazão é um dispositivo que determina, geralmente por uma única medida, a quantidade (peso ou volume) por unidade de tempo que passa através de uma dada seção. Entre os medidores de vazão estão incluídos: orifícios, bocal, medidor Venturi, rotâmetro, vertedor e medidor de vazão em massa. (Streeter, 1977).

A evolução das técnicas e dispositivos para a medição de vazão tem sido desenvolvida de forma independente em muitas partes do mundo (Gurovich, 2001), o que resulta em uma quantidade de desenhos e tipos, criados para fazer frente a condições locais determinadas. A medição com exatidão pode ser obtida melhorando a calibração, construindo estruturas que se ajustem com mais rigor às dimensões normalizadas.

Quase todos os tipos de obstáculos que restrinjam parcialmente a corrente da água em um canal de irrigação podem ser utilizados como dispositivo de medição, sempre que seja possível calibrá-los, desde que ocorra a alteração da velocidade do escoamento e que seja possível conhecer as relações entre as velocidades e perdas de carga.

A calibração e a normalização poderiam beneficiar a economia da medição de vazão, como se, por exemplo, se utilizasse os bueiros existentes nos canais como estruturas medidoras.

Os ensaios de calibração podem ser muito custosos e podem exigir muito tempo; assim, só se justifica estudar um novo dispositivo quando o mesmo possa ser utilizado para múltiplos fins. Para pequenas vazões, considerando o limite de 1 m<sup>3</sup>/s, segundo Gurovich (2001).

De acordo com Wilson (1911), em projetos de irrigação situados na Índia a vazão era medida com o uso de um vertedor colocado no canal, enquanto que a vazão em aquedutos era medida com o uso de flutuadores ou vertedores triangulares. Outra possibilidade era o uso de orifícios em caixas fechadas, com o inconveniente de haver uma incerteza em relação à altura de carga a montante do orifício. Nenhum dos módulos existentes na época era satisfatório para medir grandes volumes de água. Os vertedores eram considerados pelo autor como os mais satisfatórios métodos de obter-se, de forma acurada, o volume de água conduzido por um canal.

Os procedimentos mais empregados para determinar a vazão em sistemas de irrigação se baseiam em estimar (1) a velocidade média em uma seção conhecida ou (2) aplicar alguma função de vazão em função de uma variável hidráulica facilmente medida (Villasante, 1995). Embora estes sejam os mais frequentes e objeto de um estudo mais detalhado, existem diversas maneiras de determinar a vazão aduzida pelo sistema de canais. Villasante apresenta as seguintes opções:

- a medição do volume ou do peso da água aportada por uma corrente em um determinado tempo, também medido, compõem os métodos *volumétricos e gravimétricos*, apropriados para vazões pequenas e úteis para avaliar a aplicação de água no campo;
- a estimativa da velocidade média, com o uso de *traçadores* ao longo de uma distância mínima com seção constante;
- uma estimativa grosseira, com o uso de *flutuadores*;
- equipamentos com precisão de laboratório, como *anemômetro a fio quente ou aplicação do efeito Doppler e raios laser*;

- medição da velocidade em uma dada seção com o uso de *molinetes*, procedimento muito comum em canais de irrigação e em estudos hidrológicos
- uso de *contadores totalizadores e proporcionais* em uma posição adequada dentro da corrente líquida;
- uso de *medidores ultra-sônicos* adaptados a processos de automação de sistemas de irrigação, embora não sejam frequentes na medição de vazão em canais;
- ainda mais rara, a utilização de *medidores eletromagnéticos*.

Entre as opções disponíveis, os medidores com hélices, são adequados para sistemas onde não se podem permitir perdas de altura para a medição e onde se cobra por volume, pois realizam a totalização do volume entregue ao irrigante.

De Buffon (1861) coloca que a medição da velocidade média é muito mais viável do que a medição do volume. Para determinar a velocidade média, o autor recomenda flutuadores, pêndulo hidrométrico, tubo de Pitot, tacômetro de Brunings e molinete de Woltmann. Entre os métodos de determinação da vazão, cita vertedores, um *método complicado, composto por uma eclusa e ramal lateral*, definido por Prony e o *módulo milanês*, considerado pelo autor como de uma exatidão bem consistente, com a grande vantagem de não necessitar de nenhuma fórmula ou cálculo para definir a vazão derivada.

A altura da boca é constante e fixada em 0,20 m, sob uma pressão da água de 0,10 m. Com uma parte móvel, entre duas ranhuras horizontais, o orifício é regulado para permitir a passagem da vazão exata desejada. O módulo exige uma queda de água maior do que 0,5 metro.

Heras (1981) apresenta os seguintes mecanismos de determinação de vazão:

- medidores de ressalto, baseados nos tubos de Venturi, dentre os quais a Calha Parshall é a mais utilizada;
- escalas e linígrafos.

As possibilidades de medição apresentadas para a irrigação por ESTADOS (1918) são:

- Vertedores, quando há uma queda adequada e os volumes a serem medidos não sejam muito grandes;
- Orifícios submersos, quando não há uma queda disponível, quando a vazão for pequena e não houver o carreamento de materiais grosseiros;
- Seções de medição com o uso de molinetes ou outros dispositivos similares, quando não há queda suficiente para um vertedor e para vazões maiores.

Para o caso do uso de vertedores, o texto indica o perfil Cippoletti e o vertedor retangular, contraído ou não, sempre em parede delgada e vertical. Nos orifícios, a seção retangular com paredes verticais é a indicada.

Trisoldi (1967) lista as seguintes possibilidades de medição:

- Tomadas hidrométricas: Orifícios livres em parede delgada; Orifícios em parede espessa; Tubos adicionais; Orifícios submersos; e
- Vertedores (Vertedor Bazin; Cippoletti; triangular; e de escala linear)
- Verificação da velocidade média e da seção líquida, com o uso de
  - Flutuador, Tubo de Pitot ou Molinete
  - Recipientes de capacidade conhecida;
  - Soluções salinas; e
  - Medidores de ressalto hidráulico.

Daker (1987) apresenta as opções de medição direta por volume (para pequenas vazões), vertedor, flutuador e molinete.



Figura 19 – Vertedor triangular parede espessa em canal de irrigação. Fonte: (ESTADOS, s.d.)

Outra possibilidade muito citada na bibliografia é a utilização de medidores de regime crítico, sendo o mais conhecido o medidor ou calha Parshall. Estas estruturas forçam o escoamento a passar pelo regime crítico por meio de uma combinação de estreitamento e elevação do fundo do canal, seguidos de uma garganta e rebaixamento do fundo e ampliação da abertura do canal.

O medidor Parshall apresenta muitas vantagens, entre as quais as mais destacadas são a pequena perda de carga, uma exatidão razoável para uma faixa ampla de vazões, a insensibilidade à variação da velocidade de aproximação e o reduzido efeito que estes dispositivos tem sobre o transporte de sedimentos. Apresenta como inconveniente o seu custo de implantação, pois necessitam ser realizadas em alvenaria para os canais maiores. Além disto, em terrenos com baixa capacidade de suporte, exigem reforços estruturais.

Replogle (1992) coloca que a medição da vazão em todos os pontos de entrega da água costuma ser impraticável, podendo a vazão ser controlada em dois ou mais canais terciários e em pontos específicos da rede de distribuição. Dentre as possibilidades de medição de vazão, destaca as calhas de grande desenvolvimento, por serem precisas, facilidade e economia de construção, flexibilidade de dimensões e do formato do canal e baixa perda de carga.

Israelsen (1963) lista as seguintes possibilidades para canais: orifícios, vertedores de parede delgada, orifícios submersos, calha Parshall e molinete. Larsen (s.d.) cita as mesmas opções e mais uma calha de seção trapezoidal. Rebour e Deloye (1971) limitam estas opções ao vertedor triangular, ao retangular e a calha Parshall.

Uma outra possibilidade é a utilização de vertedores de parede espessa, com ou sem contração lateral. Os estudos realizados pelo *Bureau of Reclamation* estão sistematizados no programa *WinFlume*, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Torres et alli, 2001) que permite o dimensionamento destas estruturas. Estes vertedores de parede espessa ou calhas de garganta larga fazem parte da classe de medidores de fluxo crítico, sendo adaptáveis a muitas situações que envolvem canais artificiais ou naturais. A sua teoria de funcionamento e projeto foi descrita por Bos, Replogle e Clemmens (Torres et alli, 2001). O fluxo crítico é obtido por uma elevação do fundo e pela contração das parede laterais, formando uma soleira espessa, em uma extensão que deve ser  $0,1 < H_{\text{montante}} / \text{comprimento soleira} < 1$ .

As vantagens destes medidores são as seguintes:

- Os erros esperados são menores que 2%;
- A seção da garganta pode ter qualquer formato, permitindo estabelecer uma faixa de vazões com uma boa precisão;
- A perda de carga requerida é mínima;
- As calhas podem trabalhar com uma submergência parcial
- A transição convergente gradual, desde que construída adequadamente, não representa obstáculo a objetos flutuantes;
- Podem ser aplicadas a canais com fluxo subcrítico e com sedimentos em suspensão
- A construção da estrutura é econômica
- A instalação é adaptável a canais existentes.

Estas calhas são constituídas de um canal de acesso, uma transição convergente, uma seção de controle, uma seção divergente (opcional) e um canal de transição a jusante do controle. A seção de controle é a junção de um vertedor de parede espessa com a

garganta ou apenas uma destas opções, selecionada de forma a assegurar o regime crítico nas condições informadas pelo projetista.

O canal de acesso orienta o desenvolvimento das condições de fluxo uniforme e simétrico e o estabelecimento de uma altura de água estável que pode ser determinada com precisão. Este canal pode ser construído em terra.

A seção convergente de transição conduz o fluxo subcrítico da entrada de forma suave e moderada até a garganta, sem permitir a ocorrência de descontinuidades ou separação do fluxo da estrutura.

A garganta é a seção onde ocorre o fluxo crítico. Esta seção deve ter o fundo plano.

A transição divergente é que possibilita a redução da velocidade, gerando uma dissipação de energia. O canal a jusante da estrutura deve devolver o escoamento à condição original. O nível a jusante é um elemento importante na concepção da estrutura, pois pode assegurar a ocorrência do fluxo crítico sem submersão na garganta. Por fim, deve ser considerada a colocação de um linímetro ou escala no canal de acesso, que deve medir a diferença entre a seção de montante e a garganta.

A figura 20. apresenta a configuração básica deste medidor.

Para garantir uma boa precisão de medida na determinação do fluxo máximo previsto, devem ser obedecidos alguns condicionantes:

- O número de Froude não deve ser superior a 0,5 na estação de medição ou para uma distância de 30 vezes a altura de carga na seção à montante.
- As condições são mais favoráveis à medição se o Froude for igual ou inferior a 0,2, condição que pode ser alterada no caso de elevado transporte de sedimentos.
- O canal a montante deve ser reto e uniforme em uma distância maior do que 30 vezes a altura de carga. Para valores inferiores a este limite mas superiores a 6 vezes a altura de carga, a precisão é reduzida em 3%;

O programa WinFlume projeta calhas virtuais baseadas nos critérios fornecidos pelo usuário e as avalia de acordo com critérios primários e secundários:

- Critérios primários

- a. o número de Froude a montante deve ser menor que 0.5
- b. o bordo livre a montante para o fluxo máximo previsto deve atender aos critérios do projetista, que deve saber da existência e das condições de estruturas ao longo do trecho a ser monitorado.
- c. nível de água a jusante aceitável deve ser maior do que o nível em condições de vazão mínima; e
- d. nível de água a jusante aceitável deve ser menor do que o nível em condições de vazão máxima;
- Critérios secundários
  - a. o projeto deve apresentar os requisitos de precisão na vazão mínima;
  - b. o projeto deve apresentar os requisitos de precisão na vazão máxima.

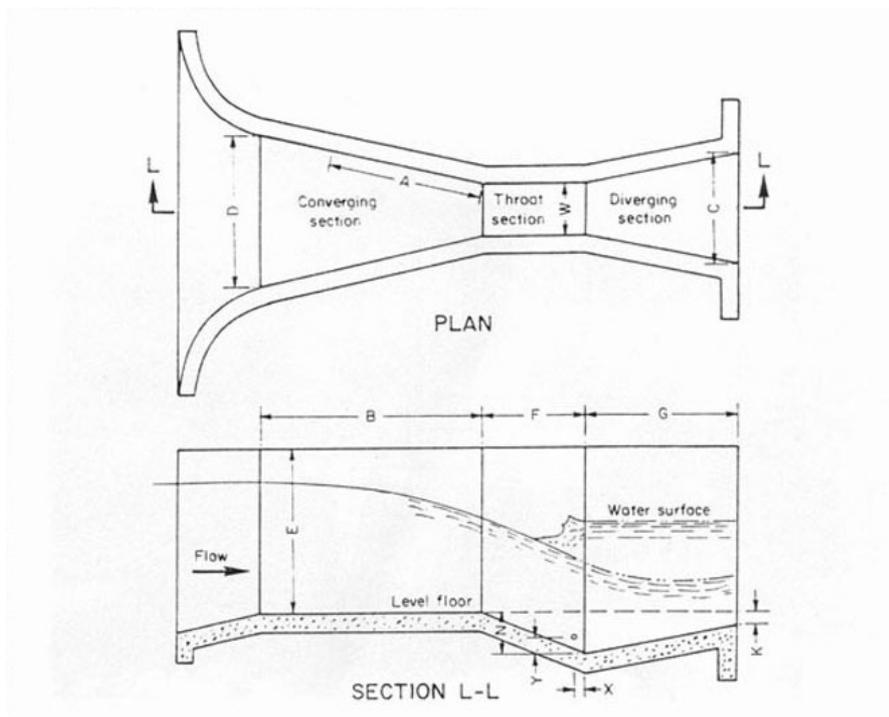


Figura 20 – Configuração básica de uma calha Parshall (FAO, 1997)

Além disto, a calha deve estar afastada de qualquer estrutura que descarregue água de forma turbulenta, como caídas, comportas e saltos hidráulicos. Se não há quedas no

fundo da calha para compensar as perdas de carga, o nível a montante se elevará, reduzindo a capacidade de transporte do canal, que pode passar a transbordar. Por isso, o programa estabelece como padrão um *freeboard* igual a 20% da altura de carga de referência.

O nível de jusante deve ser considerado com muita atenção, já que nem sempre dependerá apenas da vazão, das características geométricas e da rugosidade das paredes e fundo do canal, como é o caso dos canais operados por comportas transversais com efeito de remanso. O efeito da operação destas estruturas deve ser conhecido ainda na fase de projeto.

A deposição de sedimentos deve ser evitada, fazendo-se coincidir a curva de vazão e profundidade na seção de controle com a curva da seção a montante.

A proteção dos taludes deve cobrir uma extensão superior a quatro vezes a profundidade máxima no canal a jusante e não menos do que 1,5 metro.

Um dos atrativos do WinFlume é a obtenção de escalas (que podem ser impressas) para a colocação nas paredes do canal, e que já consideram a inclinação destas paredes. As unidades de escala podem ser métricas ou de vazão, facilitando a leitura e o entendimento do operador ou do irrigante.

Rijo (1993) descreve a concepção, a instalação e a operação de uma soleira espessa modificada, seguindo os estudos de Bos, Clemmens e Replogle. A estrutura, instalada no canal de Salvaterra, foi construída em madeira tratada e preenchida com sacos de areia. O processo de concepção exigiu a definição da faixa de vazões a ser medida. De posse das dimensões da seção de controle, é necessário determinar os valores de vazão, profundidade crítica e profundidade de montante, o que só é possível por iteração a partir da fixação de um dos valores, normalmente a vazão. A estrutura implantada possibilitou a medição da vazão máxima com uma sobre-elevação a montante de 0,12 m, quando o *freeboard* disponível era de apenas 0,18 m. Os erros observados foram de 4,25% para a vazão mínima e 1,44% para a vazão máxima.

Os bueiros, comumente utilizados para travessia do sistema viário pelo traçado dos canais, também podem ser utilizados para determinar a vazão. No entanto, essa utilização é complexa pela multiplicidade de situações que podem ocorrer nestas estruturas, podendo o escoamento ser como um *canal, orifício ou conduto forçado* (Baptista et alli, 2003).

A figura 21 mostra as possibilidades de escoamento segundo Chow.

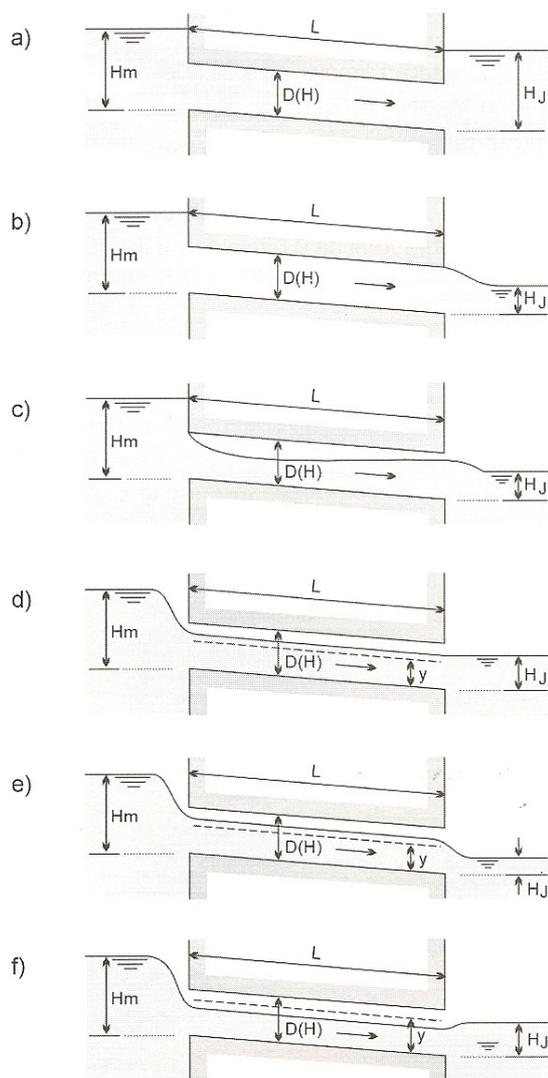


Figura 21 – Condições hidráulicas de funcionamento de bueiros (Chow, apud Baptista e Lara, 2003)

Existem, segundo Cardoso Neto (1997), cinco possibilidades de escoamento em um bueiro e não seis, pois se a saída estiver submersa, todo o conduto também estará. Assim, os tipos de escoamento são:

I – Seção interna parcialmente ocupada e saída livre (casos d, e ou f da figura 21)

II – Seção interna parcialmente ocupada e saída parcialmente submersa (caso c da figura 21)

III – Seção interna plenamente ocupada e saída completamente submersa (caso a da figura 21)

IV – Seção interna plenamente ocupada e saída parcialmente submersa (não há esta situação na figura 21)

V – Seção interna plenamente ocupada e saída livre (caso b da figura 21)

Na situação (I), o escoamento será definido como canal, sendo que o comportamento da altura da água dentro do bueiro dependerá da declividade, das perdas de carga localizadas e da rugosidade das paredes. A subida do nível a jusante (tipo II) terá maior influência quando esse se aproximar do nível de montante. O escoamento como canal pode ser verificado nos regimes subcrítico, crítico e supercrítico.

No tipo III, o bueiro funcionará como conduto forçado, sendo a vazão relacionada com a perda de carga. No tipo IV, o escoamento é instável, com o conduto cheio, mas com saída parcialmente ou totalmente livre (tipo V, situação limite do tipo IV).

A dificuldade em adotar-se um bueiro para definição de vazão está no número de opções de escoamento, que podem ainda incluir a formação ou não de ressalto no interior do bueiro, o comportamento como tubo ou canal hidráulicamente curto ou longo, a presença ou não de singularidades ao longo do canal, entre outras.

Estas dificuldades aumentam com a inclusão de comportas na entrada do bueiro ou o efeito de remanso na saída, motivado, por exemplo, pela operação de uma comporta a jusante

A possibilidade de cálculo da vazão em um bueiro sem comportas é:

- Considerar que o fluxo no bueiro, incluindo a saída, é livre e a altura de carga a montante regula a vazão – neste caso, a vazão é determinada por montante, e o cálculo é simples, aplicando apenas a equação dos orifícios para altura de carga sobre o centro do orifício;

- Considerar a profundidade de jusante, no final do bueiro, como altura crítica para esta vazão – neste caso, a altura de carga a ser considerada em relação ao orifício é a diferença entre as alturas de montante, conhecida, e a de jusante, que é a de jusante do bueiro corrigida pela declividade. Não haverá a formação de ressalto se a declividade for a declividade crítica ou superior à crítica. Este cálculo, provavelmente errado, serve para definir um limite inferior para a vazão. A relação entre os dois valores de vazão (máximo e mínimo) dá a margem de erro que se está cometendo, que deve ser inferior aos 10% pretendidos.

- Considerar a altura de jusante afogando ou não o ressalto – Com a equação do ressalto e as duas profundidades, pode-se calcular o F na seção 1 e, com a profundidade (abertura x coeficiente), calcula-se a seção 1, e estima-se o comprimento do ressalto e sua localização. Se estiver dentro do bueiro, verifica-se a possibilidade de afogamento. Para ressalto livre, volta-se para a situação 1; para ressalto afogado, despreza-se a perda de carga e determina-se a vazão pela situação 2.

Para a caracterização do escoamento no ressalto utiliza-se a seguinte expressão:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \quad 4.50$$

Na qual  $y_1$  e  $y_2$  são as profundidades conjugadas e  $F_1$  é o número de Froude da seção 1. Na situação de bueiros controlados por comportas, as equações a serem utilizadas são as do escoamento por orifícios, afogados ou livres, conforme o caso.

#### **4.9.3. Limitantes dos medidores de vazão em canais não revestidos**

A aplicação das soluções até agora apontadas para canais não revestidos também têm inconvenientes:

- No uso de estruturas em alvenaria, há que considerar-se a capacidade de sustentação do terreno em condições de saturação, que é a situação observada na época de irrigação;
- A estrutura será colocada no fundo do canal, sendo necessário prever um modo de esvaziar o canal no inverno, para permitir o controle de ervas invasoras;
- Podem ser afetadas pela presença ou operação de reguladores mesmo distantes, de acordo com a declividade do fundo do canal e da rugosidade das paredes, sendo que canais em terra normalmente conjugam as situações mais desfavoráveis destes fatores;
- A faixa de medição da estrutura é limitada, sendo que a seleção de um arranjo depende da prévia definição de uma faixa de valores de vazão que deverão ser medidos com um nível de precisão aceitável;
- A estrutura exige uma preparação de um trecho considerável do canal, com estruturas de convergência e divergência.
- A medição de vazão com o uso de molinetes ou de ADCP tem o inconveniente de obterem valores pontuais, além de exigirem pessoal especializado, o que resulta em um custo elevado para obter-se uma cobertura adequada de dados.

Estes limitantes de determinação da vazão em canais de irrigação não revestidos resultam em uma situação de baixo índice de coleta de dados de vazão em canais de terra. Especificamente nos sistemas públicos de irrigação do Rio Grande do Sul, a medição de vazão é realizada por medidor Parshall apenas no Distrito do Arroio Chasqueiro; os outros sistemas utilizam a estimativa da vazão ingressante no sistema de canais pela equação das comportas localizadas das tomadas de água. A medição de vazão não é realizada em nenhum outro ponto dos sistemas.

Em sistemas particulares, a vazão é estimada com base no comportamento das bombas instaladas, sendo que já existem serviços de assistência técnica que utilizam medidores de ultra-som ou eletromagnéticos nas tubulações de adução. Estas medições, no entanto, também são pontuais e dispendiosas.

A maior ou menor necessidade de medição da vazão está em função do sistema de distribuição de água empregado. A distribuição sobre demanda conta com a medição da água como base para sua distribuição equitativa, assim como o cálculo da cobrança. Onde a água é distribuída mediante rotação entre os agricultores ao longo de um canal de distribuição e onde a quantidade entregue a cada agricultor pode ser diferente, a medição da vazão pode ser realizada apenas na saída do canal.

Dentre as opções apresentadas, foram analisados, com mais detalhe, os orifícios e os vertedores, por serem os mais adaptados aos canais não revestidos, pela recomendação de um grande número de autores, por serem de baixo custo e facilmente implantados.

#### **4.9.4.- escoamento em orifícios**

Os orifícios são considerados como dispositivos muito precisos na medição de vazão. Segundo Lencastre (1996), um orifício, no sentido hidráulico, é uma abertura de perímetro fechado de forma regular praticada na parede ou no fundo de um recipiente, através do qual sai o líquido contido neste recipiente, mantendo-se o contorno completamente submerso, isto é, abaixo da superfície livre.

Os orifícios são de parede delgada se o líquido toca o perímetro da abertura apenas segundo uma linha; no caso contrário, será um orifício de parede espessa. Conti (1912) coloca critérios simples para definir estes orifícios. Se a espessura da parede for menor do que qualquer dimensão do orifício, este será de parede delgada; se a espessura da parede for igual ou até três vezes maior do que a menor dimensão, será um orifício de parede espessa.

De forma geral, o valor da vazão escoada através de um orifício é obtido por

$$Q = \mu S \sqrt{2gh}, \quad 4.51$$

sendo  $\mu$  um coeficiente de correção de vazão,  $S$  a seção do orifício e  $h$  a distância vertical entre a superfície livre e o centro de gravidade do orifício.

O coeficiente de correção de vazão é afetado pela viscosidade, velocidade, turbulência, distribuição das velocidades e a forma do orifício (Javan e Shahrokhnia, 2006). O valor deste coeficiente de vazão é obtido a partir da determinação de outros dois coeficientes, um de contração da seção de escoamento e outro de alteração da velocidade do jato.

O coeficiente de contração,  $C_c$ , é a relação entre a seção contraída  $S_c$  e a seção do orifício  $S$  ( $C_c = \frac{S_c}{S}$ ). O coeficiente de contração, geralmente, é superior a 0,5.

O coeficiente de velocidade,  $C_v$ , traduz a influência da resistência das paredes e da viscosidade. Seu valor varia entre 0,96 e 0,99. Em um escoamento livre, a velocidade varia entre um valor mínimo no centro, igual a  $0,6 \cdot (2gh)^{0,5}$  e um máximo, nos bordos, igual a  $C_v \cdot (2gh)^{0,5}$ . Essa variação é devida a distribuição de pressões, segundo a qual a pressão máxima apresenta-se no centro do orifício, com um valor igual a  $0,6\gamma h$ , sendo igual à pressão atmosférica nos bordos. Sendo  $\delta$  a distância vertical entre o plano do orifício e a seção contraída, a velocidade média pode ser obtida por

$$V = C_v \sqrt{2g(h + \delta)}. \quad 4.52$$

sendo que para cargas elevadas a influência de  $\delta$  é desprezível.

Quando os orifícios são considerados grandes em relação à carga, as velocidades nos filetes do jato são muito diferentes e não se pode considerar a velocidade do filete médio como velocidade média do jato. Essa diferença pode ser desprezada se a carga é, ao menos, o dobro do valor da dimensão vertical do orifício.

O escoamento em comportas assemelha-se, em geral, ao escoamento através de orifícios. Nesse caso, o valor da carga é considerado a partir do fundo do canal, e não sobre o centro de gravidade do orifício.

Balloffet et alli (1948) apresentam uma descrição detalhada sobre o comportamento do escoamento em orifícios submersos em canais abertos, como o caso da passagem da água através de uma comporta colocada sobre o fundo do canal, conforme a figura 22.

A solução do problema é realizada pela análise das seções I e III, situadas, respectivamente, na abertura da comporta e mais a jusante, após a acomodação da velocidade do fluxo.

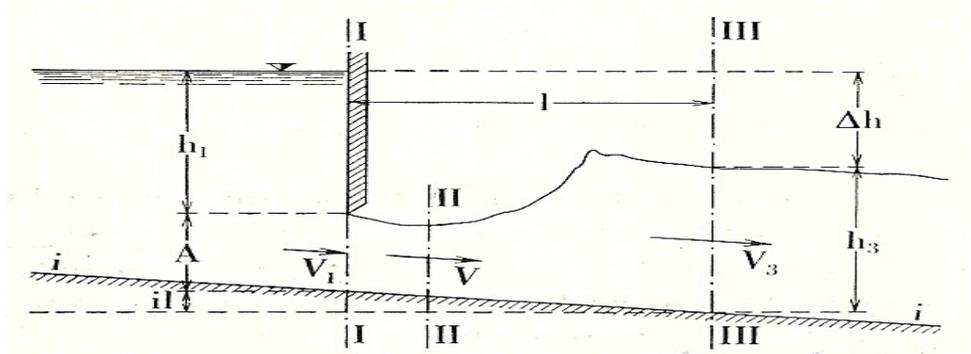


Figura 22 – Orifício afogado em canal. Fonte: Balloffet et alli (1948)

Aplicando-se o teorema de Bernoulli entre estas seções se obtém:

$$(h_1 + A + il) + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = h_3 + \alpha_3 \frac{v_3^2}{2g} + J_t \quad 4.53$$

onde  $v_1$  e  $v_3$  são as velocidades médias nas duas seções do canal,  $\alpha_1$  e  $\alpha_3$  são os coeficientes corretivos das energias de velocidade em cada uma das seções, que são, em geral, diferentes, pois as velocidades em cada seção apresentam distribuições distintas;  $J_t$  é a perda de carga total que se observa entre as duas seções;  $A$  é a abertura da comporta;  $h_1$  e  $h_3$  são as profundidades nas duas seções do canal; e  $il$  é o rebaixamento do fundo do canal devido à inclinação do mesmo. Sendo

$$h_1 + A + il - h_3 = \Delta h \quad 4.54$$

$$\Delta h = \alpha_3 \frac{v_3^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + J_t \quad 4.55$$

A perda de carga  $J_t$ , que se observa entre as duas seções, pode ser considerada como a soma das perdas distribuídas e localizadas ao longo da distância entre elas. Pode-se aceitar que a perda de carga total é sensivelmente igual à perda localizada pelo alargamento brusco da seção, sendo que este valor pode ser obtido pela aplicação da fórmula de Borda:

$$J_t \cong J_E = \frac{(v - v_3)^2}{2g} K \quad 4.56$$

sendo  $K$  é um coeficiente experimental próximo da unidade e  $v$  a velocidade teórica na seção contraída logo após a passagem pela comporta (seção II na figura).

Assim, a perda de carga pode ser reescrita como

$$\Delta h = \alpha_3 \frac{v_3^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \frac{(v - v_3)^2}{2g} K \quad 4.57$$

Esta expressão pode ser reescrita da seguinte forma

$$v = v_3 + \frac{1}{\sqrt{K}} \sqrt{2g(\Delta h + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_3 \frac{v_3^2}{2g})} \quad 4.58$$

A velocidade real na seção contraída é menor do que esse valor teórico, inserindo-se o coeficiente de redução de velocidade ( $C_v$ ), ligeiramente menor do que a unidade. Assim

$$v = C_v \left[ v_3 + \frac{1}{\sqrt{K}} \sqrt{2g(\Delta h + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_3 \frac{v_3^2}{2g})} \right] \quad 4.59$$

Fazendo  $\mu = C_c \cdot C_v$ ,  $\psi = \frac{S_2}{S}$ , , essa equação pode ser reescrita como

$$Q = \mu S \left[ v_3 + \frac{1}{\sqrt{K}} \sqrt{2g(\Delta h + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_3 \frac{v_3^2}{2g})} \right] \quad 4.60$$

Esta expressão não pode ser resolvida diretamente, pois as velocidades nas seções 1 e 3 dependem da vazão, que é a incógnita do problema. Aplicando-se a equação da continuidade e transformando-se algebricamente, obtém

$$Q = \frac{1}{\sqrt{K \left( \frac{1}{\mu S} - \frac{1}{S_3} \right)^2 - \left( \frac{\alpha_1}{S_1^2} - \frac{\alpha_3}{S_3^2} \right)}} \sqrt{2g\Delta h} \quad 4.61$$

No caso de existir uma velocidade de chegada  $V_0$  na direção do eixo do orifício, a vazão será calculada por

$$Q = \mu S \sqrt{2g \left( h + \frac{V_0^2}{2g} \right)} = \mu S \sqrt{2gH} , \quad 4.62$$

sendo H a carga total a montante do orifício.

Um orifício é considerado afogado ou submerso quando o jato descarrega debaixo d'água.

Um orifício diz-se *totalmente submerso* quando a água, a jusante, está em um nível acima do bordo superior do orifício. O orifício diz-se *parcialmente submerso* quando a água, a jusante, está em um nível compreendido entre os bordos superior e inferior do orifício.

Yen et alli (2001) citam estudo de Swame (1992) que estabelece uma condição de submersão para orifícios a partir das profundidades da água a montante e a jusante de comportas, conforme mostrado nas figuras 23 e 24.

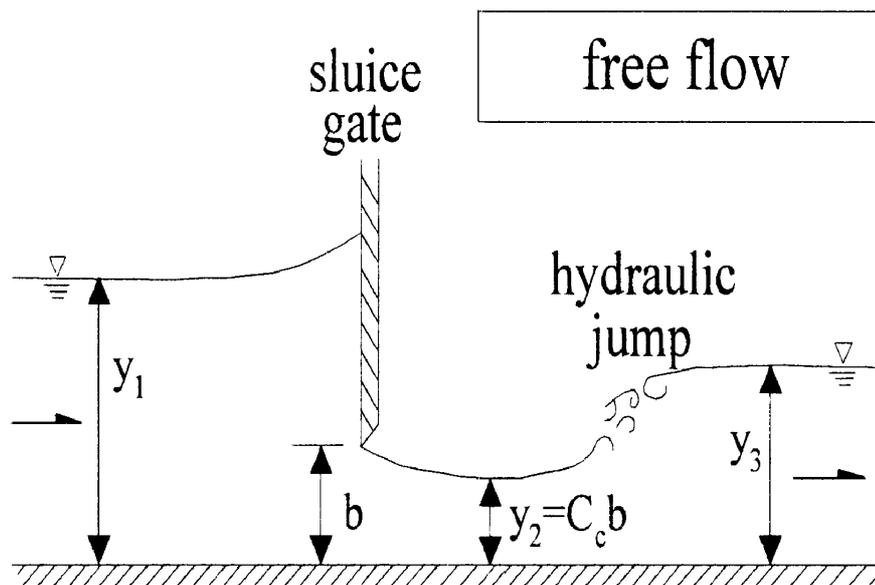


Figura 23 – Escoamento livre sob uma comporta (Yen et alli, 2001)

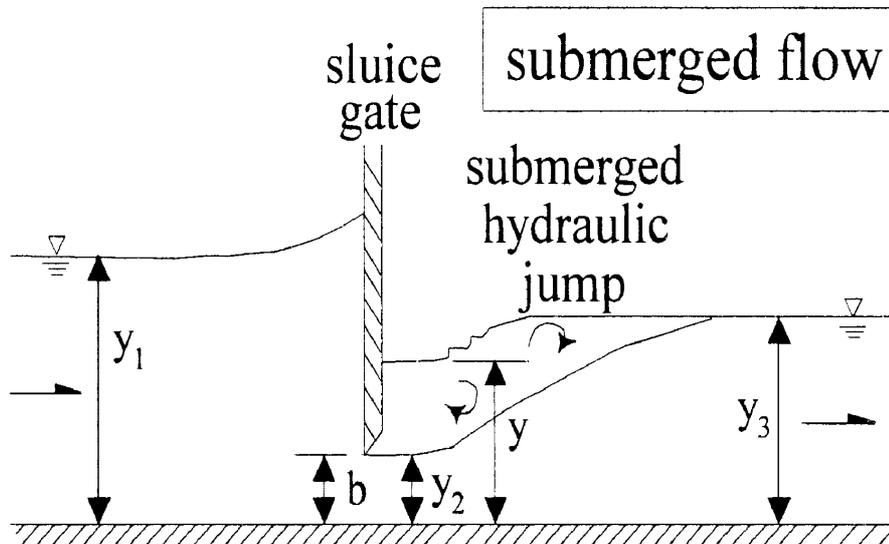


Figura 24 – Escoamento afogado sob uma comporta (Yen et alli, 2001)

De acordo com Swamme (1992, apud Yen, 2001), o escoamento será:

Livre, se  $y_1 \geq 0,81y_3 \left(\frac{y_3}{b}\right)^{0,72}$

Submerso, se  $y_3 < y_1 < 0,81y_3 \left(\frac{y_3}{b}\right)^{0,72}$

No caso de orifícios totalmente submersos, a vazão é dada por:

$$Q = \mu' S \left[ V_2 + \sqrt{2g(h_1 - h_2) + V_1^2 - V_2^2} \right] \quad 4.63$$

onde  $\mu'$  é o coeficiente de vazão para orifícios submersos,  $S$  é a área da seção transversal,  $V_1$  é a velocidade média a montante e  $V_2$  é a velocidade média a jusante e  $h_1$  e  $h_2$  as alturas de montante e jusante, respectivamente. Sendo as velocidades desprezíveis, segundo Forchheimer, a vazão é dada pela equação:

$$Q = \mu' S \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad 4.64$$

O valor dos coeficientes de descarga para orifícios afogados são um pouco menores do que os correspondentes à descarga livre. Segundo Balloffet et alli (1948), Lencastre (1996) e Forchheimer (1950), Weisbach e posteriormente Gibson, apontam para a

necessidade de aplicação de um coeficiente entre 0,98 e 0,986 sobre o coeficiente de vazão para descarga livre.

Por outro lado, se as velocidades de escoamento em um canal, parcialmente obstruído por um orifício, não são desprezíveis a montante e a jusante deste, as energias de velocidade devem ser consideradas e a equação fica assim apresentada:

$$z_1 + 0 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{v^2}{2g} + \frac{(v - V_1)^2}{2g} \quad 4.65$$

sendo o último termo a perda de carga devida à expansão do jato.

Desenvolvendo-se e isolando-se o valor de  $v$ , obtém-se

$$Q = \mu S \left[ v_2 + \sqrt{2g \left( h + \frac{v^2}{2g} - \frac{V_3^2}{2g} \right)} \right] \quad 4.66$$

sendo  $\mu$  o coeficiente de vazão, que varia entre 0.50 e 0.67.

Ruiz et alli (1992), citando Cunge e Woolhaiser (1975), definem as condições de contorno para um canal alimentado por uma comporta vertical plana:

$$Q = \mu a (H - a)^{1/2} \text{ se } h \leq \frac{2}{3} H; a \leq \frac{2}{3} H \quad 4.67$$

$$Q = 0,385 \mu H^{3/2} \text{ se } h \leq \frac{2}{3} H; a > \frac{2}{3} H \quad 4.68$$

$$Q = \mu h (H - h)^{1/2} \text{ se } h > \frac{2}{3} H; a > h \quad 4.69$$

$$Q = \mu a (H - h)^{1/2} \text{ se } h > \frac{2}{3} H; a \leq h \quad 4.70$$

Onde  $\mu = b(2g/\gamma)^{1/2}$ ;  $a$  é a abertura da comporta;  $H$  é o nível da água a montante da comporta;  $h$  é o nível de jusante;  $b$  é a largura da comporta;  $\gamma$  é um coeficiente de perda de carga.

Quanto à contração do jato, nem sempre é verificada a contração total. Se nem todo o contorno do orifício apresenta-se como uma aresta viva, a contração diz-se *parcial*; se as

paredes do orifício estão muito próximas do recipiente, a contração será *incompleta* ou *parcialmente suprimida*; por fim, se o orifício apóia-se em uma parede, a contração é considerada como *suprimida*. Para cada uma destas situações, o coeficiente de contração ( $\mu$ , conseqüentemente, o de vazão) terá um valor distinto.

O orifício é dito de contração incompleta quando a água não se aproxima livremente do orifício em todas as direções, o que ocorre quando o mesmo não está afastado suficientemente das paredes e do fundo. Segundo Neves (1970), para uma contração completa, o orifício deve estar afastado ao menos três vezes a sua menor dimensão das paredes e do fundo. Com contração incompleta, o coeficiente de contração é alterado e a vazão aumenta. Rubio (1949) afirma que a contração é completa quando a distância dos bordos do orifício às paredes laterais ou ao fundo são iguais ou maiores que o dobro da mínima dimensão do orifício. Para corrigir este efeito, Rubio apresenta duas relações:

$$\mu' = \mu \left( 1 + 0,15 \frac{p'}{p} \right) \text{ para orifícios retangulares;} \quad 4.71$$

$$\mu' = \mu \left( 1 + 0,13 \frac{p'}{p} \right) \text{ para orifícios circulares.} \quad 4.72$$

Sendo  $p$  o perímetro total do ofício e  $p'$  a parte deste perímetro onde não há contração e  $\mu'$  o coeficiente de vazão para orifícios com contração incompleta.

Bidone, citado por Neves (1970), apresenta uma relação um pouco diferente da anterior, com validade para  $p'/p < 3/4$ .

$$\mu' = \mu \left( 1 + 0,155 \frac{p'}{p} \right) \quad 4.73$$

Lencastre (1969, página 147, citando King, 1939) apresenta valores diferentes deste coeficiente, de acordo com o tipo de contração do orifício. Para orifícios sem contração, ou seja, com *contração totalmente suprimida*, significando que as arestas do orifício coincidem com os lados do canal, um orifício de 200 mm x 200 mm apresenta um coeficiente de 0,95, para uma carga de 0,90 m. (ver também Brater, 1996, página 4.9).

No caso de um orifício incompleto, sem contração de fundo, Lencastre aponta para o uso da altura de carga a montante com referência ao fundo do canal. Para a situação de

*bordo superior arredondado e contração suprimida em baixo e nos lados*, Lencastre, referindo-se a Willians apud King (p. 600), apresenta um valor de  $\mu=0,776$ .

#### **4.9.5.- Estudo sobre vertedores**

A vazão em canais pode ser medida por um vertedor, que é uma obstrução que faz com que o fluido escoe sobre a mesma. Determina-se a vazão medindo-se a altura da superfície da água a montante. Os vertedores são usualmente apresentados como de parede delgada e de parede espessa.

Os construídos a partir de chapas metálicas ou outro material de tal modo que o jato ou jorro passe livremente ao deixar a face de montante são denominados de vertedores de soleira delgada.

A distinção entre vertedores de parede delgada e parede espessa pode ser calculada pela seguinte expressão (Bos, 1976, apud Tuyen, 2006)

$$0,08 < \frac{H_1}{L} < 0,5 \quad 4.74$$

onde H é a energia a montante do vertedor e L é a largura da crista do vertedor. Respeitando esta inequação, o vertedor é de parede espessa. Segundo Lencastre, para valores menores de  $H_1/L$ , as perdas de energia sobre o descarregador já não são desprezáveis; para valores maiores, a curvatura das linhas de corrente são acentuadas e não é observada a distribuição hidrostática de pressões.

Os vertedores de soleira espessa, mantém o escoamento numa direção longitudinal. No vertedor de soleira espessa, o escoamento do jorro é tal que a variação da pressão é hidrostática em 2

A equação de Bernoulli pode ser aplicada entre os pontos 1 e 2, determinando a velocidade  $v_2$ , na altura z, desprezando a velocidade de aproximação.

$$H + 0 + 0 = \frac{V_2^2}{2g} + z + (y - z) \quad 4.75$$

onde z é a cota da soleira do vertedor e y a espessura da veia líquida sobre a crista.

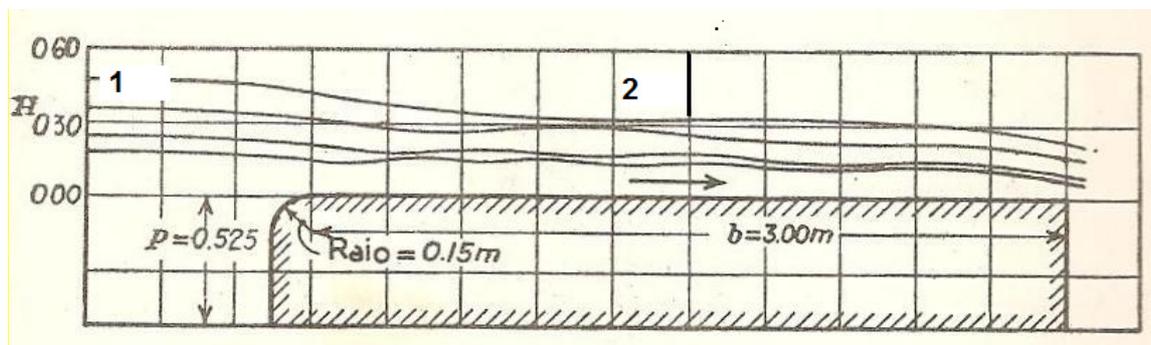


Figura 25 – Escoamento sobre vertedores de parede espessa (King, 1957)

Segundo Lencastre (1996), um vertedor ou descarregador de soleira delgada é um dispositivo muito preciso de determinação de vazão. Nestes dispositivos, a parte da soleira que está em contato com a água tem dimensões muito reduzidas, com valores entre 1 e 2 mm.

Ramos (1985) indica a utilização de vertedores de parede delgada para determinação da vazão. Como critério, indica a necessidade de que a velocidade de escoamento no canal a montante deve ser inferior a 0,15 m/s, *o que equivale a águas quase tranquilas*. Para maior precisão, a espessura da água sobre o vertedor não deve ser superior a 1/3 de sua largura, mas não deve ser inferior a 5 cm, para não dificultar a leitura do nível a montante. O escoamento deve ser livre, não sendo afogado pelo nível de jusante, e deve haver um *espaço vazio por debaixo da lâmina e a parede do vertedor*. Uma proteção a jusante deve ser prevista, para evitar processos erosivos.

Segundo Trisoldi (1967), o desprezo da velocidade pode ser realizado para valores iguais ou menores que 0.2 metros por segundo. Resolvendo a soma de Bernoulli em relação à  $v_2$ , obtém-se:

$$v_2 = \sqrt{2g(H - y)} \quad 4.76$$

Sendo  $v_2$  constante na seção 2, a vazão para um vertedor de largura  $l$ , normal ao escoamento, a vazão teórica é

$$Q = v_2 l y = l y \sqrt{2g(H - y)} \quad 4.77$$

Uma comporta ou outro obstáculo colocado na seção 3 da figura pode interromper o escoamento, fazendo  $Q=0$  e  $y=H$ , Mantendo-se  $H$  constante e permitindo um pequeno escoamento na seção 3, com a abertura da comporta, por exemplo, a profundidade  $y$  torna-se um pouco menor do que a carga  $H$ . Elevando-se ainda mais a abertura da comporta, a relação vazão –profundidade segue a tendência de elevação da vazão e a redução de  $y$ , até que a vazão atinge um valor máximo. Após este ponto, qualquer elevação da abertura da comporta a jusante não significará aumento da vazão na seção 2, pois a velocidade nesta seção será igual a  $\sqrt{gy}$ , que é exatamente a velocidade de uma onda elementar em um líquido em repouso de profundidade  $y$ ; por isso, o efeito de qualquer alteração da superfície de jusante no sentido de elevação da abertura da comporta não pode *caminhar para montante* para modificar o valor de  $y$ . Esta profundidade é denominada de *profundidade crítica*. O gráfico da função da vazão em relação à profundidade é mostrado na figura a seguir.

O valor da profundidade crítica é obtido (Streeter, 1977) por  $dQ/dy = 0$  para  $H$  constante. Assim:

$$dQ/dy = 0 = l\sqrt{2g(H-y)} + ly \frac{1}{2} \frac{(-2g)}{\sqrt{2g(H-y)}} \quad 4.78$$

$$y = \frac{3}{2}H \quad 4.79$$

A passagem do escoamento pela profundidade crítica significa uma relação unívoca entre a profundidade e a velocidade do escoamento nesta seção, permitindo a determinação da vazão apenas com uma medida, desde que conhecido o valor da largura do canal.

Rubio (1947) apresenta o desenvolvimento da determinação da velocidade do jato em um vertedor, conforme a figura 26.

Chamando de  $g_0$  o centro de gravidade da parte superior da corrente líquida, situada, portanto, entre a crista do vertedor e a superfície livre em um ponto a montante da crista e  $g_1$  o centro de gravidade da lâmina vertente sobre a crista; de  $z_0$  e  $z_1$  suas alturas referentes ao plano da crista;  $z_0'$  a carga na seção de montante. Admitindo-se  $v_0$  como nula e o regime

hidrostático entre a seção de montante e a crista e  $\eta$  a espessura da lâmina vertente. A carga varia de  $h$  a  $h - \eta$ , sendo  $\eta < h$ , já que a carga não pode ser negativa, sendo  $h$  a altura da água desde o nível da superfície livre na seção de montante sobre a crista do vertedor. A aplicação do teorema de Bernoulli entre as duas seções resulta

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_a}{\gamma} + z_1 = \frac{p_a + z_0 \gamma}{\gamma} + z_0$$

$$\frac{v_1^2}{2g} = (z_0 + z_0) - z_1 = h - \frac{\eta}{2}$$

$$v_1 = \sqrt{2g\left(h - \frac{\eta}{2}\right)}$$

4.80, 4.81 e 4.82

O valor de  $\eta$  é obtido experimentalmente e oscila entre  $0,72h$  e  $h$ . Tomando o valor médio de  $0,86h$ , obtém-se

$$v_1 = \sqrt{19,62\left(h - \frac{1}{2}0,86h\right)} = \sqrt{19,62 \cdot 0,57h} = 3,344\sqrt{h}$$

4.83

Designando  $b$  como a largura da crista do vertedor, e considerando um valor médio para  $\mu = 0,62$  e agregando os valores numéricos constantes em uma variável auxiliar  $r$ , obtém-se

$$Q = \mu b 0,86h \sqrt{2g \cdot 0,57h} = 0,403bh \sqrt{2gh}$$

$$r = 0,62 \cdot 0,86 \sqrt{0,57}$$

$$Q = rbh \sqrt{2gh}$$

$$Q = 1,78bh \sqrt{h}$$

4.84, 4.85, 4.86 e 4.87

Rubio também coloca que o valor de  $\mu$  para vertedores de cristas vivas varia entre 0,63 e 0,68, enquanto  $\mu$  para vertedores arredondados varia entre 0,80 e 0,83, para aplicação na equação de gasto apresentada acima.

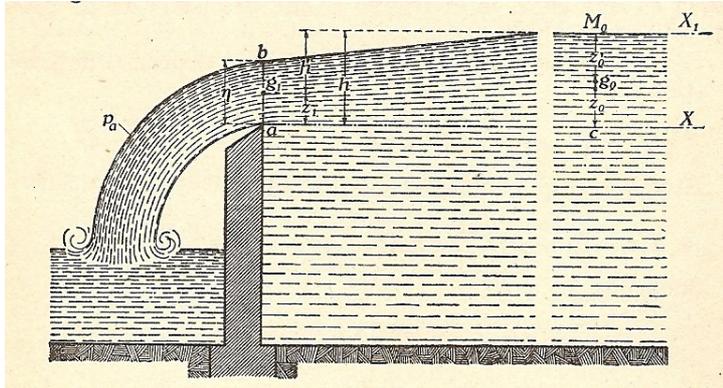


Figura 26 – Desenvolvimento do jato de um vertedor livre (Rubio,1947)

Se ao vertedor segue um canal, a velocidade  $v_1$  é dada por

$$v_1 = \sqrt{2g(h - \eta)} \quad 4.88$$

e a vazão por

$$Q = b\eta\sqrt{2g(h - \eta)} \quad 4.89$$

A vazão máxima que pode ser observada é

$$\frac{Q^2}{2gb^2} = \eta^2h - \eta^3; \eta = \frac{2}{3}h$$

$$Q = b\frac{2}{3}h\sqrt{\frac{2}{3}gh} = 0,385bh\sqrt{2gh} \quad 4.90 \text{ e } 4.91$$

Na maior parte dos casos, a velocidade na seção de montante ( $v_0$ ) não pode ser desprezada e a equação de gasto tem que ser modificada para

$$Q = \mu b \left[ h + \alpha \frac{v_0^2}{2g} \right] \sqrt{2g \left[ h + \alpha \frac{v_0^2}{2g} \right]} \quad 4.92$$

de onde

$$Q = \mu b \sqrt{2g} \left[ h + \alpha \frac{v_0^2}{2g} \right]^{3/2} = \mu b \sqrt{2gh} \left[ 1 + \alpha \frac{v_0^2}{2gh} \right]^{3/2} \quad 4.93$$

A situação da lâmina também foi estudada por Bazin (Rubio, 1947; Bauzil, 1952). Quando a lâmina passa pelo umbral e é criado um espaço de modo que o ar circule por baixo da mesma, sendo a pressão embaixo da lâmina é a pressão atmosférica, a lâmina é considerada *livre*, sendo que o vertedor pode ser considerado como de parede delgada.

Se, pela disposição das paredes do canal a jusante não há a ventilação na face inferior da lâmina, a água apresenta contato com as paredes a montante e a jusante. O ar torna-se rarefeito, a corrente líquida a jusante se eleva e a pressão exterior aproxima a lâmina líquida do vertedor, ocasionando uma depressão na lâmina, que passa a ser considerada como lâmina *deprimida*. O coeficiente de gasto se eleva até 1,08 vezes do valor do coeficiente da lâmina livre.

Quando a altura de carga sobre o umbral é pequena, a corrente permanece sobre o parâmetro de jusante e a lâmina torna-se *aderida*, aumentando o coeficiente de gasto em até 1,3 da situação livre.

Finalmente, quando a relação  $p/h$  está entre 0,4 e 2,5, e pela elevação do nível de jusante, a lâmina permanece sem se separar do parâmetro de jusante, denominando-se de lâmina *submergida inferiormente*, variando o coeficiente de gasto segundo a relação  $p/h$  até 1,12 do coeficiente para lâmina livre.

A lâmina submersa é menos frequente que a lâmina ondulada, sendo que o limite entre as duas é dado por

$$H - H_1 \leq \frac{1}{5} \text{ ou } \frac{1}{6} P_1 \quad 4.94$$

sendo a seção 1 a seção de jusante, após a região do turbilhonamento.  $H$  é a carga total e  $P$  é a altura existente entre a soleira do vertedor e o fundo do canal.

Segundo Gurovich (2001), o vertedor é o dispositivo mais prático e econômico para a medição de vazão, *sempre que se disponha de altura suficiente*. Os vertedores de medição de vazão requerem uma altura relativamente grande, uma manutenção considerável do vertedor e proteção do canal a jusante e abaixo da crista. A exatidão da medição é razoavelmente boa. A seleção do vertedor deve considerar os seguintes fatores:

- A altura não deve ser inferior a 6 centímetros nem superar 60 centímetros para a vazão prevista;
- Para vertedores retangulares ou trapezoidais, a altura não deve exceder a 1,3 vezes o valor do comprimento;
- A crista do vertedor deve situar-se a uma altura suficiente para que a água que fluirá sobre o vertedor caia livremente, deixando um espaço de ar debaixo do jato. Quando há a formação de um jato livre, a vazão pode ser determinada apenas pela leitura da altura de carga a montante, se as dimensões e forma do vertedor forem conhecidas previamente;
- Se não se permite a aeração da parte inferior do jato, pode ser verificado um aumento da vazão para a mesma altura de carga, pelo efeito de uma zona de baixa pressão a jusante. Quando o nível da água a jusante sobe acima da cota da crista, se considera que o jato está submerso. Isto pode ou não afetar o regime de descarga de forma mensurável, mas nestas condições a confiança da medição diminui. Quando o nível de jusante sobre a crista ultrapassa no mínimo 66% (2/3) da altura de carga sobre a crista, o grau de imersão afeta apreciavelmente a vazão. Nestas condições de submersão, a vazão necessita da determinação dos níveis a montante e a jusante. Os fluxos submersos e não ventilados não são convenientes para condições normais, devendo ser evitados.

Israelsen (1963) coloca que os vertedores apresentam vantagens como medidores de vazão, pois são (i) exatos, (ii) simples de serem construídos, (iii) duráveis e (iv) não são obstruídos por corpos flutuantes. Por outro lado, (i) necessitam de quedas grandes, com razoável perda de carga, o que torna esta opção impraticável para terrenos nivelados, (ii) causam a acumulação de materiais grosseiros, areia e limo a montante, o que afeta a precisão da medição.

Parker (1913) cita inúmeras estruturas destinadas a reter sedimentos antes de seu ingresso nos canais de distribuição, relatando o fracasso de algumas intervenções, como vertedores instalados no fundo de canais, que resultaram em redução de velocidade do escoamento e precipitação do material em suspensão, como mostra a figura 27.



Figura 27 – Detritos acumulados junto à estrutura de controle em canal (Corrales Main Canal) Fonte: ESTADOS, s.d.

As condições de implantação dos vertedores retangulares em geral são bem definidas (ESTADOS, 1918):

- A crista do vertedor e seus lados do lado de montante devem ser delgados e a distância da crista ao fundo e dos lados às margens do canal devem ser maiores que o dobro da profundidade da água sobre o vertedor e nunca menores que 1 pé (0,305 m).
- O jato de água sobre o vertedor deve tocar apenas uma linha da crista e de seus lados
- O ar deve circular livremente sob o jato e pelos seus lados
- A face de montante do vertedor deve estar na vertical
- A crista do vertedor deve estar em nível em toda a sua extensão
- Os lados devem ser verticais
- A altura de carga sobre o vertedor deve considerar o nível da superfície livre e ser realizada a montante do mesmo, a uma distância entre 4 e 10 pés (1,22 e 3,05 metros) do vertedor

- A seção transversal do canal a uma distância de 20 a 30 pés (6,1 e 9,15 metros) a montante do vertedor deve ter uma área no mínimo seis vezes maior do que a área molhada sobre a crista.
- A correção da velocidade de aproximação deve ser realizada na altura de carga.

Um descarregador retangular sem contração lateral é designado por descarregador Bazin (Balloffet et alli, 1948), que, devido ao grande número de observações, permite obter boa precisão na medição dos canais. Trisoldi (1967) descreve um vertedor Bazin com sendo uma estrutura proposta para a existência de velocidade de chegada, com um umbral delgado e horizontal que atravessa vertical e perpendicularmente a direção da corrente. O espaço subjacente a veia líquida que cai tem comunicação direta com a atmosfera, permitindo a entrada de ar na face inferior do jato. A precisão desta medida pode variar entre 98 e 99%, de acordo com Cauvin (1949).

Para assegurar uma boa precisão na determinação da vazão com o uso do vertedor Bazin são necessários certos cuidados na sua construção:

- Não deve haver contração lateral, sendo a largura da soleira descarregadora exatamente igual à largura do canal. A contração da lâmina líquida é completa em toda a largura do vertedor e é suprimida dos lados, uma vez que os flancos do vertedor estão alinhados com as paredes do canal de chegada;
- A altura do vertedor não pode ser muito baixa e a soleira deve ser realizada numa lâmina delgada;
- Os valores de  $H$  (carga sobre o umbral) devem estar compreendidos entre 0,1 e 0,6 metros e a altura  $p$  do umbral deve estar entre 0,2 e 2 metros.
- O canal a montante deve ter um comprimento mínimo de 20 vezes o valor de  $h$ , sendo  $h$  a distância vertical entre a superfície livre e a soleira, no qual deve possuir uma seção constante para permitir o estabelecimento do movimento uniforme;

- As velocidades de chegada ao descarregador devem ser uniformemente distribuídas;
- A leitura da carga deve ser feita a uma distância nunca inferior a 5h ou mesmo 10h;
- A ventilação deve ser completa, de modo a manter-se a lâmina sempre livre; para cargas muito pequenas, a lâmina descarregadora impede a passagem do ar e a lâmina torna-se *aderente* ao parâmetro de jusante do vertedor.

No caso de vertedores de seção trapezoidal, é necessário corrigir o coeficiente de vazão. Brater et allí (1996) apresentam uma proposta de variação de acordo com a inclinação das paredes e da altura de carga, segundo a Tabela a seguir.

Tabela 24 – Variação do valor do coeficiente de descarga C para vertedores em canais de seção trapezoidal, de acordo com a carga e com a inclinação dos taludes

Inclinação montante	Inclinação jusante	Carga H, cm							
		5	10	15	20	25	30	40	50
1:1 (h:v)	1:1		2.35	2.29	2.27	2.27	2.25	2.17	2.07
1:1	2:1	2.11	2.10	2.08	2.10	2.12	2.13	2.13	2.12
1:1	3:1		1.96	1.92	1.91	1.91	1.92	1.92	1.91
2:1	2:1	2.14	2.13	2.10	2.11	2.13	2.14	2.14	2.14
1:2	2:1	2.07	2.05	2.04	2.06	2.06	2.07	2.06	2.05
1:3	2:1	2.02	2.01	2.03	2.03	2.04	2.04	2.03	2.02
Vertical	2:1	1.97	1.92	1.94	1.96	1.98	1.98	1.98	1.97

Fonte: Brater et al. (1996)

Apesar de ser uma recomendação com cerca de um século, observa-se na bibliografia sobre irrigação que a medição de vazões em canais com o uso de vertedores de paredes delgadas continua sendo a mais indicada, por não necessitar de um grande desenvolvimento no seu comprimento.

O inconveniente da proposta de utilização de vertedores em canais com escoamento livre para a determinação da vazão é justamente a condição de não influência de jusante, o que resulta na necessidade de uma elevação considerável do vertedor, causando, por consequência, uma elevação do nível da água a montante, que, por sua vez, será sentida a uma distância considerável, pois os canais em terra normalmente têm pequenas pendentes. Por outro lado, a exigência de alturas de cargas mínimas pode reduzir a aplicação do

vertedor ao longo da irrigação, pois as vazões nos canais tendem a variar muito entre o início e o final da irrigação. Outra dificuldade criada é quanto à manutenção dos canais em terra, que seria dificultada pela presença de uma estrutura permanente. Ainda há que se considerar o efeito da queda da água na seção de jusante, o que pode causar processos erosivos importantes em canais de terra.

A jusante de um vertedor seguido de um canal pode ser esperada a formação de um ressalto hidráulico. Segundo Chow (1994), os ressaltos podem ser classificados de acordo com o valor do número de Froude do fluxo que ingressa no canal, ou seja, do fluxo que sai do vertedor:

- Para  $F_1 = 1$ , o fluxo é crítico e não há a formação de ressalto;
- Para  $1 < F_1 < 1,7$ , a superfície da água apresenta ondulações e o ressalto é dito *ondulante*;
- Para  $1,7 < F_1 < 2,5$ , são observados redemoinhos sobre a superfície do ressalto, mas a superfície da água a jusante permanece uniforme, e o ressalto é considerado *débil*;
- Para  $2,5 < F_1 < 4,5$ , existe um jato oscilante que entra no ressalto desde o fundo até a superfície, com oscilações irregulares, sendo o ressalto denominado de *oscilante*;
- Para  $4,5 < F_1 < 9,0$ , o ressalto estará mais bem balanceado e o seu comportamento melhor caracterizado, apresentando uma dissipação de energia entre 45% e 70%. Este ressalto é chamado de *estável*.
- Por fim, quando  $F_1 \geq 9,0$ , o ressalto é denominado de *forte* e a dissipação de energia pode atingir até 85%.

Havendo a elevação do nível de jusante de forma a influenciar o escoamento sobre o vertedor ou a redução da altura de carga a montante, é necessário considerar essas influências sobre o comportamento hidráulico da estrutura.

Segundo Neves (1970) e Daker (1987), o vertedor é considerado afogado ou incompleto quando o nível de jusante é superior ao da crista. Segundo Neves (1970), Bazin cita que, se a crista é plana, espessa ou arredondada, não há grande redução de descarga se

$H/H_1 > 0,5$ , pois para estas cristas há um considerável abaixamento da superfície da água e consequentemente um aumento da velocidade, mesmo antes da lâmina deixar a crista.

O escoamento observado em vertedores afogados pode ser de dois tipos:

- A lâmina vertente parece escoar sobre a superfície de jusante, formando uma série de ondas (lâmina ondulada); ou
- A lâmina vertente mergulha sob a superfície de jusante, de modo que a queda d'água afasta o líquido de jusante (lâmina submersa). A água desce ao fundo e volta gradualmente à superfície, formando um movimento turbilhonar. Isso é observado quando a carga é elevada.

Neves (1970) apresenta uma equação para vertedores submersos, definida a partir dos elementos já considerados

$$Q = \mu_1 b (h_1 - h) \sqrt{2g(h - z)} + \frac{2}{3} \mu_2 b \sqrt{2g} \left[ \sqrt{(h + z)^3} - \sqrt{z^3} \right] \quad 4.95$$

com os valores para  $\mu_1$  e  $\mu_2$  situados entre 0,63 e 0,83, dependendo se há contração ou não e se o vertedor é arredondado ou em crista viva.

De acordo com Rubio (1947), Bazin apresenta a seguinte expressão para os vertedores submersos

$$Q = 1,05 \mu \left[ b + \frac{h}{5p} \sqrt[3]{\frac{h - h'}{h}} \right] b h \sqrt{2gh} \quad 4.96$$

sendo  $h'$  a diferença de cotas entre o nível a jusante e a crista do vertedor e  $p$  a altura deste.

A descarga de um vertedor de lâmina ondulada também pode ser calculada pela expressão de Redtembacher, supondo o escoamento dividido entre um vertedor livre, acima do nível de jusante, e um orifício afogado, na parte inferior

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{2}{3} \mu_v l \sqrt{2g(H - H_1)^{2/3}} + \mu_o l \sqrt{2g(H - H_1)} \quad 4.97$$

Bazin (apud Rubio, 1947) distingue dois casos de acordo com a influência ou não do nível da água a jusante. Quando não há influência, o valor do coeficiente é

$$\mu = 0,47 + 0,0075 \frac{p^2}{h^2} \quad 4.98$$

Havendo influência, o coeficiente é expresso por

$$\mu = \beta \left( 1,05 + 0,15 \frac{h_1}{h} \right) \quad 4.99$$

sendo  $h_1$  o nível da água a jusante em relação à crista do vertedor.

Escribá Bonafé (1988) coloca que se o nível de jusante ultrapassar certo patamar, relacionado com a altura do vertedor e com a profundidade crítica, uma estrutura colocada no fundo do canal deixa de ser um vertedor e passa a se comportar como um obstáculo de fundo. Neste caso, o comportamento hidráulico pode ser de um vertedor afogado ou de um estreitamento do canal. Embora estas soluções possam ser analisadas numericamente, percebe-se na prática que as diferenças entre o nível de montante, sobre a crista e o nível de jusante reduzem-se consideravelmente, induzindo a erros de leitura.

O autor apresenta uma tabela de valores máximos a serem observados, que foi transformada em um sistema de equações, que permitiram definir o valor máximo de vazão para que a estrutura trabalhasse como vertedor.

#### **4.9.6.-Vertedores de paredes curtas**

Entre estes os vertedores de parede delgada e os de parede espessa, Lencastre (1996) apresenta, por uma questão de sistematização, uma classificação adicional, a qual denomina *descarregadores de soleira curta*. Estas estruturas são as que, não apresentando uma soleira em aresta viva, não são suficientemente espessas para que se estabeleça sobre elas o paralelismo das linhas de corrente, com a consequente distribuição hidrostática das pressões.

Entre estes descarregadores, estão os de perfil circular. Chanson e Montes (1998) afirmam que o uso de vertedores de formato cilíndrico era comum no século XIX e no

começo do século XX, antes do desenvolvimento de vertedores na forma de ogiva, como o de perfil Creager. Bazin realizou uma série de investigações sobre essa possibilidade, sendo seguido por Rehbock (em 1929), Fawer (em 1937) e Sarginson (em 1972).

Segundo Lencastre (1996), para um perfil curvo genérico somente o estudo de um modelo reduzido permitirá fixar o coeficiente de vazão. Desta forma, o uso de tubulações com seção circular definida tem esta vantagem adicional.

A situação de escoamento em canais e a posição da tubulação podem levar ao afogamento do vertedor. Em uma situação desta, o coeficiente de vazão muda, sendo inferior ao coeficiente observado no escoamento livre. Lencastre (1969, pg. 186) aponta para estudos do U.S. Bureau of Reclamation para a determinação da redução do coeficiente em vertedores de *soleira normal*. Não há referências a vertedores de seção circular. O comportamento do escoamento pode ser dividido em quatro tipos, mostrados na figura 28.

Os tipos de afogamento são os seguintes:

- Tipo I – a diminuição do coeficiente de vazão não é causada pela submersão, mas sim somente pela posição do leito a jusante;
- Tipo II – o coeficiente de vazão será alterado subindo o leito a jusante ou reduzindo a relação entre a profundidade e a carga ( $\beta = y/H$ ),
- Tipo III – continuando a diminuir o grau de afogamento ( $\beta = y/H$ ), embora a lâmina líquida continue a seguir o parâmetro de jusante do vertedor, a profundidade da água a jusante é tal que o ressalto toma características de ondulado, salvo para valores de  $\alpha$ , sendo  $\alpha = \frac{y+h}{H}$ , muito pequenos; e
- Tipo IV – zona inferior do gráfico – para valores ainda menores de  $\beta$ , aparece o escoamento nitidamente afogado. O afogamento é muito instável, exceto para valores muito pequenos de  $\alpha$ . É nesta zona que a diminuição do coeficiente de vazão é mais acentuada.

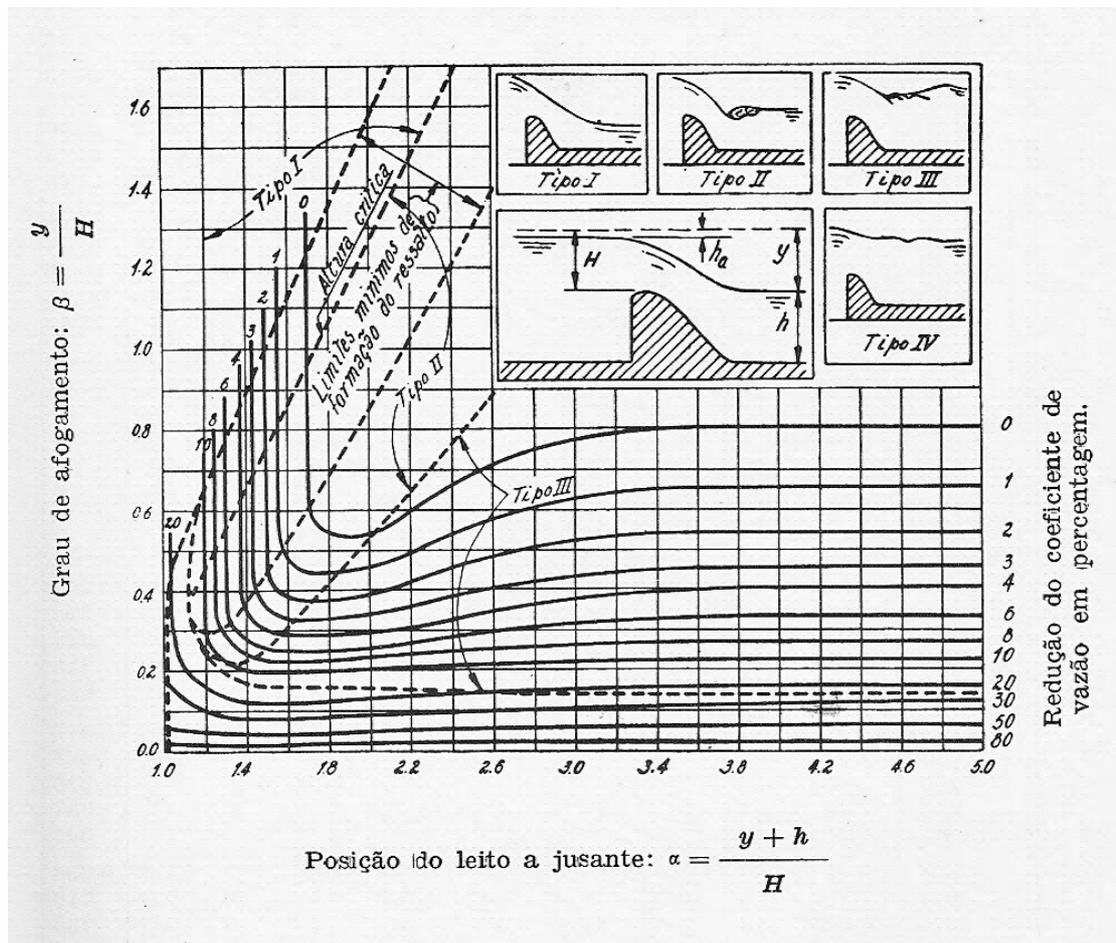


Figura 28 – Alteração no coeficiente de vazão de acordo com o afogamento do vertedor (Lencastre, 1996)

A utilização da figura apresentada acima para cálculos pode gerar muitas imprecisões nas faixas dos tipos III e IV, que são as que mais devem ser observadas em canais reais de irrigação não revestidos, pois as situações I e II implicam em maiores velocidades e, portanto, maior risco de erosão. Em canais com baixas velocidades e maiores alturas do escoamento, os níveis de montante e jusante devem se aproximar, reduzindo o valor de  $y$  e, conseqüentemente, o valor de  $\beta$ . Da mesma forma, não sendo previstos degraus ou elevação do fundo, o valor de  $\alpha$  nestas situações será próximo da unidade. Nesta situação, há a dificuldade de inferir os valores entre duas curvas do gráfico.

O trabalho de Bauzil (1952) apresenta um estudo sobre a variação do valor do coeficiente de descarga  $C$  para situações de afogamento na forma de uma curva de correção, com variação entre 2,16 e 2,21, para utilização na equação

$$Q = CL \left( H + \frac{V^2}{2g} \right)^{3/2} . \quad 4.100$$

O escoamento sobre um cilindro pode gerar um escoamento com lâmina aderida, o que leva a um aumento do coeficiente de descarga entre 15 e 20% (Chanson e Montes, 1998). O processo de formação da lâmina aderida é uma forma do *efeito Coanda*, causado pela curvatura convexa, que induz uma pressão de sucção sobre a parede do cilindro. A lâmina continuará aderida no quadrante inferior do lado de jusante da seção circular do vertedor, separando-se do mesmo junto ao fundo do canal por efeito da presença do leito do canal ou das estruturas de suporte do cilindro.

O coeficiente de descarga de um vertedor cilíndrico em função da carga total sobre a soleira ( $H$ ) e o seu raio de curvatura desta, foi determinado por alguns autores, entre eles:

- Chanson e Montes (1998), considerando duas situações distintas a montante:

$$C_D = 1,185 \left( \frac{H}{R} \right)^{0,1358} ; \text{ para escoamentos parcialmente desenvolvidos e valores de } 0,45 < H/R < 1,9 \quad 4.101$$

$$C_D = 1,1268 \left( \frac{H}{R} \right)^{0,1811} ; \text{ para escoamentos plenamente desenvolvidos e valores de } 0,45 < H/R < 1,9 \quad 4.102$$

- Fawer (1937) (apud Lencastre, 1996):

$$\mu = 0.385 + 0.085 \frac{H}{R} - 0.010 \left( \frac{H}{R} \right)^2 \quad 4.103$$

De acordo com Chanson e Montes (1998), a espessura da lâmina vertente ( $\eta$ ) sobre o cilindro é menor do que a profundidade crítica, porque a curvatura da superfície implica em um gradiente de pressões menor do que uma distribuição hidrostática e a distribuição de velocidades do escoamento sobre a crista é rapidamente variável.

Os autores concluem que a relação entre a espessura da lâmina vertente sobre a geratriz superior do cilindro e a profundidade crítica para a mesma vazão é, em média, 0,85, podendo esta relação ser estimada pela fórmula, válida para  $0,02 < H/R < 2,63$  e  $0,042 < R < 0,117$  m.:

$$\frac{d_{crista}}{d_{critica}} = \frac{0,85}{1 - 0,31 \exp(-2H/R)} \quad 4.104$$

A perda de carga em um vertedor circular pode ser estimada por:

$$\frac{\Delta H}{H_{mont}} = 1 - \left( \frac{0,54 * \left(\frac{d_{crit}}{D}\right)^{0,275} + 1,71 * \left(\frac{d_{crit}}{D}\right)^{-0,55}}{1,5 + \frac{D}{d_{critica}}} \right) \quad 4.105$$

Fazendo o valor de H variar em função do diâmetro de tubulação de acordo com a expressão de Fawer, (4.103), percebe-se que a função apresenta um valor de máximo, onde o coeficiente vale 0,5656 e a altura de carga é 2,125 vezes o valor do diâmetro.

#### 4.9.7.- Combinação de vertedor e orifício

A evolução do estudo da localização das tubulações em relação ao fundo do canal levou a elevação destes, formando duas estruturas complementares: um orifício com contração apenas na parte superior e um vertedor de parede curta, definido pela geratriz superior da tubulação, considerando que este se encontra na horizontal.

Esta estrutura apresentaria, para vazões pequenas, o escoamento em orifícios até o limite apresentado pela geratriz inferior do tubo; um escoamento em orifício até que o nível a montante atingisse o valor da geratriz superior; e um escoamento misto, a partir deste ponto, dividido entre o vertedor na parte superior e o orifício na parte inferior.

A vantagem desta concepção é a passagem livre do escoamento pelo orifício, não acarretando a deposição de sedimentos a montante, o que afetaria o comportamento da estrutura. De acordo com a concepção, esta estrutura também tem a vantagem de ser removível, permitindo uma manutenção mecanizada do canal. Outra possibilidade seria a troca de diâmetro das tubulações, de acordo com a faixa de vazão a ser medida.

A figura 29 a seguir apresenta o comportamento desta equação.

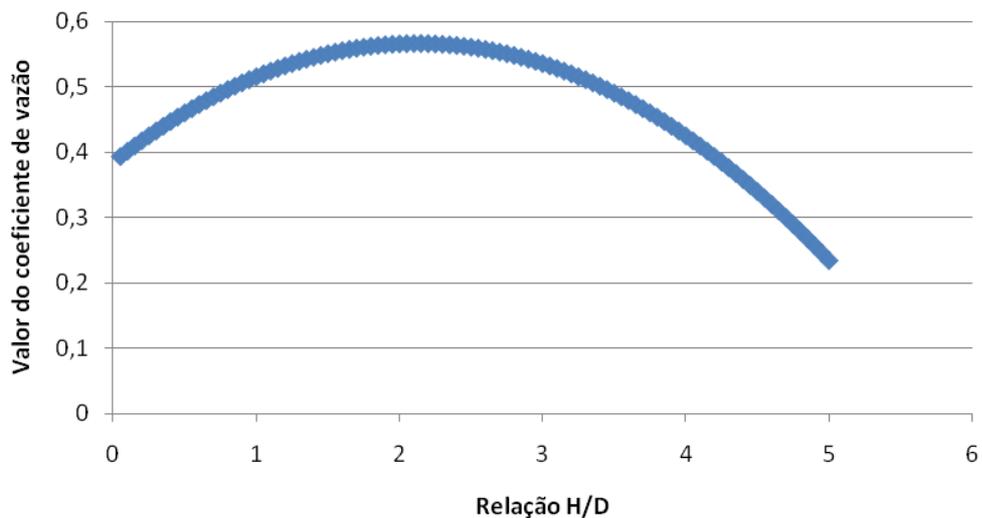


Figura 29 – Alteração do coeficiente de vazão de acordo com Fawer

Samani e Mazaheri colocam que o uso de vertedores e comportas combinados podem minimizar problemas de sedimentação e deposição. Afirmam, ainda, que poucos estudos sobre esta combinação foram realizados antes de 1985.

As questões que se colocam, a partir desta concepção, podem ser assim resumidas:

- Qual a perda de carga deste arranjo, ou, dito de outra forma, qual é a elevação do nível a montante da estrutura para possibilitar a passagem da vazão desejada?
- Qual o diâmetro mínimo que a tubulação tem que ter para permitir a determinação da vazão com uma precisão aceitável?
- Qual é a distância mínima da tubulação a partir do fundo do canal?
- Qual é a distância máxima?
- Qual é a velocidade de saída da água desta estrutura?
- Qual é a influência do nível de jusante?

O estudo de estruturas semelhantes foi realizado por Negm (2002 a,b), tanto para vertedores de parede espessa como de parede delgada. O autor encontra relações entre dimensões facilmente calculáveis ou mensuráveis do problema e a estimativa de vazão

total, com correlações que atingem valores superiores a 0,9 e erros menores que 15%. Os melhores resultados são obtidos pela construção de redes neurais artificiais.

Segundo Negm, a vazão total pode ser obtida pela soma das vazões parciais do vertedor e do orifício (ou comporta), que podem funcionar livremente ou afogados.

De forma geral, o autor indica a seguinte expressão:

$$\frac{Q}{\sqrt{2g}d^{2,5}} = A_0 + A_1 \left(\frac{b_1}{b}\right) \left(\frac{h}{d}\right) \quad 4.106$$

Onde  $d$  é a abertura do orifício (ou comporta),  $b$  é a largura do vertedor,  $b_1$  é a largura do orifício,  $A_0$  e  $A_1$  são coeficientes de regressão que dependem da razão  $b_1/b$ .

De acordo com Negm, o fluxo contínuo pode ser estimado por:

$$Q = F \left( \frac{2}{3} C_{dw} b_e \sqrt{2g} h_e^{1,5} + C_{dg} d b_1 \sqrt{2g(H - h_d)} \right) \quad 4.107$$

Onde  $F$  é um fator de ajuste, obtido por interação,  $h_e$  é a carga efetiva sobre o vertedor,  $C_{dw}$  é o coeficiente de descarga do vertedor,  $b_e$  é a largura efetiva do vertedor,  $C_{dg}$  é o coeficiente de vazão do orifício,  $b_1$  é a largura do orifício,  $H$  é a profundidade a montante do orifício e  $h_d$  é a profundidade a jusante do orifício.

Combinando as equações de Fawer ou de Chanson e Montes com as equações de Negm, obtiveram-se as seguintes expressões alternativas:

$$Q = F \left( 1 + 0,0221(H/R) - 0,0260(H/R)^2 b_e \sqrt{2g} h_e^{1,5} + C_{dg} d b_1 \sqrt{2g(H - h_d)} \right) \quad 4.108$$

ou

$$Q = F \left( 1,1268(H/R)^{0,1811} b_e \sqrt{2g} h_e^{1,5} + C_{dg} d b_1 \sqrt{2g(H - h_d)} \right) \quad 4.109$$

O trabalho de Ferro (2000) apresenta outra abordagem para a solução do problema, com base no  $\pi$  teorema de análise dimensional de Buckingham. A partir da definição de profundidades críticas para o escoamento comportando-se como orifício, apenas como vertedor e a máxima altura que a água pode atingir no lado de montante sem escoar pelo vertedor, o autor define relações entre a abertura do orifício, a altura de montante, a posição

da crista do vertedor, o comprimento da crista e a vazão, corrigidos por coeficientes multiplicadores e de potência. Considerando-se que todos os outros elementos podem ser obtidos, a vazão e os coeficientes são as incógnitas a serem encontradas.

As relações apresentadas por Ferro (2000) são:

$$\bullet \quad \frac{H}{z} = a \left( \frac{K_b}{z} \right)^n; \quad 4.110$$

$$\bullet \quad \frac{h}{p} = b \left( \frac{K_s}{p} \right)^q; \quad 4.111$$

$$\bullet \quad Q_b = g^{1/2} L \left( H^{1/n} z^{(n-1)/n} / a^{1/n} \right) \quad 4.112$$

$$\bullet \quad \frac{K_*}{z} = c \left( \frac{h}{z} \right)^i; \quad 4.113$$

Onde H é a profundidade da água a montante, z é a abertura do orifício,  $K_b$  é a profundidade crítica para o funcionamento apenas do orifício,  $K_s$  é a profundidade crítica para o funcionamento apenas do vertedor, h é a altura de carga sobre a crista do vertedor, p é a distância da crista do vertedor ao fundo do canal, g é a aceleração da gravidade,  $Q_{b \text{ Max}}$  é a vazão máxima para que o escoamento ocorra apenas pelo orifício,  $K_*$  é a profundidade crítica para a vazão total menos a  $Q_{b \text{ máx}}$  e as letras a, b, c, n, q e i representam os coeficientes de ajuste.

A solução proposta por Ferro negligencia o efeito da viscosidade e da submergência na relação entre altura de carga e vazão. A viscosidade é desconsiderada, pois o seu efeito é muito pequeno para valores do número de Reynolds maiores do que  $10^4$ .

## 5. METODOLOGIA

Na apresentação da metodologia, retomam-se os objetivos pretendidos, de forma a relacionar as pesquisas realizadas com a finalidade do estudo.

O objetivo geral é a avaliação da possibilidade de alteração na gestão da água em canais de irrigação não revestidos a partir do princípio usuário-pagador, considerando-se a cobrança por volume efetivamente consumido.

Somam-se a este os objetivos secundários de comparação entre os perímetros irrigados gaúchos e portugueses analisados, a proposição de uma estrutura de medição e a análise de valores referenciais para a cobrança de água na lavoura de arroz. O foco da análise foi centrado na irrigação das lavouras de arroz, pela sua importância em termos de área cultivada e de consumo unitário de água. O campo de análise refere-se a sistemas coletivos de irrigação, mais complexos quanto à operação do que as lavouras individuais, mas com maior número de dados registrados.

O objetivo principal só pode ser atingido a partir da análise da situação atual da gestão de irrigação em canais não revestidos. Para realizar esta avaliação, foi considerado o sistema do arroio Chasqueiro como estudo de caso. Sobre este sistema, foram levantadas as informações sobre operação das estruturas de controle durante a safra 2008/2009, com registros dos próprios operadores. Além disto, as estruturas foram avaliadas quanto ao seu comportamento hidráulico, gerando informações sobre vazão e volume consumido.

Quanto ao princípio usuário pagador, os estudos iniciaram ainda em 2006, quando foram estudadas formas de definir os valores de água para irrigação da lavoura de arroz. Esta necessidade foi originada pela ação de extensão que se desenvolvia na bacia do rio Gravataí junto ao projeto de assentamento do INCRA no município de Viamão. A situação da bacia, após duas safras seguidas sob condições severas de seca, indicava a necessidade de reorganização dos usos de água, sendo que a adoção de instrumentos econômicos deveria ser analisada. Outra parte do estudo sobre o princípio usuário-pagador foi desenvolvido na bacia do rio Quaraí, no âmbito do projeto TwinLatin. Nesse caso, foi abordado o efeito da eliminação de áreas de arroz na economia regional.

Por fim, foram realizadas outras determinações sobre a tarifa da água em Portugal e no sistema de irrigação do arroio Chasqueiro.

A comparação entre os projetos de irrigação foi realizada a partir dos dados levantados nas entrevistas e na leitura dos relatórios fornecidos pelos gestores.

A proposição de uma estrutura de medição que possa ser aplicada em canais não revestidos sem os inconvenientes apresentados pelas alternativas disponíveis foi analisada com base em estruturas instaladas em laboratório e em campo, tanto em Portugal como no Chasqueiro. No caso do Chasqueiro, foi analisado o uso de estruturas já existentes no sistema de canais. A estrutura alternativa proposta foi analisada apenas em canais revestidos, dada a necessidade de um preciso registro da vazão circulante para a obtenção dos parâmetros necessários.

Assim, a metodologia aplicada neste estudo foi dividida em dois grandes itens: a referente aos aspectos econômicos e de gestão; e a correspondente aos temas hidráulicos.

### **5.1.- Princípio usuário-pagador**

A cobrança pela água ainda não é praticada no Rio Grande do Sul, mesmo que prevista na legislação gaúcha sobre o sistema estadual de recursos hídricos (Lei 10.350, de 31 de dezembro de 1994) seja anterior à legislação federal. A inexistência das agências de região hidrográfica, a inexistência de planos de investimentos consolidados, a falta de definições dos valores a serem cobrados por parte dos Comitês de Gerenciamento e a inexistência de comitês de gerenciamento em algumas bacias inviabilizam ou justificam essa situação. No caso das bacias dos rios Santa Maria, Quaraí e Gravataí, que já apresentam comitês instalados, os valores considerados para a cobrança são baixos, mas não são insignificantes, pois os irrigantes sabem do conflito pelo uso da água com outros setores e com outros irrigantes e estariam dispostos a pagar pela água, desde que houvesse uma garantia desta possibilidade de uso.

Para a bacia do Gravataí, que apresenta uma atividade econômica mais diversificada do que as demais e um contingente populacional maior, pode-se esperar a elevação do custo de oportunidade para a irrigação, considerando-se o frequente quadro de escassez hídrica na época de irrigação. Para as demais bacias, com baixa diversidade industrial e contingente populacional não tão expressivo, o custo de oportunidade tende a reduzir-se rapidamente, se atendido o volume necessário para abastecimento público e diluição de esgotos.

Para as três bacias, no entanto, se considerada a externalidade da concentração de efluentes junto às cidades, ocasionada pela redução da vazão nos rios, o custo de oportunidade para a irrigação apresentará outro comportamento.

Na bacia do Quaraí, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (2008) mostra que os custos de tratamento dos efluentes junto às cidades de Quaraí e Artigas seriam da ordem de US\$ 1462/tonelada de DBO, para uma redução de 95% de contaminação. A produção de DBO/dia é da ordem de 2,3 toneladas, o que significa um custo de tratamento igual a US\$ 3.573/dia. A vazão necessária para diluição dos esgotos até a classe 3 seria de 1.54 m<sup>3</sup>/s, que é igual ao consumo de hipotéticos 1.025 hectares de arroz a montante destas cidades. A partir de definição de um valor a ser cobrado aos irrigantes por hectare cultivado, definiu-se que o valor a ser arrecadado nesta área seria de US\$ 276,75/dia, no período de irrigação. Assim, verifica-se que a disposição a pagar dos irrigantes estaria em um valor aquém do necessário para a diluição de esgotos, cujo valor alternativo de tratamento é muito mais elevado do que o custo da diluição.

Na questão econômica e de gestão, a metodologia básica foi a realização de entrevistas estruturadas, para a obtenção da Disposição a Pagar (DAP). Aplicou-se o mesmo questionário utilizado nas pesquisas realizadas nas bacias dos rios Gravataí (Stampe, 2007) e Quaraí (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2008), considerando-se os pontos positivos obtidos nestes estudos. A realização destes estudos durante a elaboração da presente tese foi possível pela aceitação da proposta de trabalho desenvolvido por Stampe (2007) pelo Programa de Pós-Graduação em Economia da UFRGS, no caso da bacia do rio Gravataí, e pela coordenação de economia do Projeto TwinLatin, no caso da bacia do Quaraí.

A base metodológica desses trabalhos foi a de Oweiss, Sheed e Gabr (s.d.), que desenvolveram três modelos para estimar a demanda por água: Modelo de Insumos Fixos, Modelo de Insumos Variáveis e o Modelo de Satisfação. Esses modelos foram ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados. Basicamente, a diferença entre esses modelos dá-se pelas variáveis que são escolhidas como explicativas. Para a validação dos modelos são recomendadas três medidas de eficiência, as quais servem de suporte para a escolha do

modelo mais adequado: Erro Absoluto Médio (MAE), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE). (Stampe, 2007)

No Modelo de Insumos Fixos existe uma restrição quanto à quantidade de água disponível, que é fixa em um determinado período e deve ser alocada entre produtos competitivos. No Modelo de Insumos Variáveis, a demanda por água é obtida pela derivada parcial da função de lucros restrita em relação ao preço da água. Por fim, no Modelo de Satisfação parte-se do pressuposto que a quantidade de terra utilizada determina a quantidade de água utilizada, considerando-se todos os preços variáveis e desconsiderando-se à restrição quanto à disponibilidade da água.

No estudo desenvolvido por Stampe (2007) na bacia do rio Gravataí, buscou-se uma função para o preço da água que não dependesse da quantidade de água utilizada e vice-versa, ou seja, a quantidade de água utilizada não dependesse do preço da água. A oferta da água foi considerada como fixa, ou seja, totalmente inelástica em relação ao seu preço. Também considerou-se que mudanças na demanda não teriam influência o preço da água. A elasticidade foi obtida com a transformando-se a equação de demanda para um modelo Log-linear. A partir da curva de demanda, pode-se obter uma estimativa para o preço para uma dada quantidade demandada. Esta quantidade também pode ser obtida por meio da curva de demanda estimada e da obtenção de seus parâmetros por métodos estatísticos. Também é possível encontrar-se um valor de preço médio ao considerar-se a média da quantidade demandada. O valor da água na bacia obtido pelo método da elasticidade, conforme indicado anteriormente, situa-se entre 1,76 e 2,52 sacos/hectare.

Na bacia também foi aplicado o Método de Valoração à Contingente (MVC), no qual o valor do recurso ambiental é obtido diretamente da Disponibilidade a Pagar (DAP) ou Disposição a Aceitar (DAA) um valor fixado por alguém ou alguma instituição competente para tal. De acordo com Stampe (2007), o método sugerido por Ciriacy-Wantrup (1947) consiste em entrevistar pessoas e descobrir o valor monetário que elas atribuem ao bem, perguntando aos indivíduos quanto eles estão dispostos a pagar por quantidades adicionais sucessivas de um bem coletivo que não se encontra no mercado. Se cada indivíduo de um determinado grupo social for interrogado, todos os valores individuais (e não quantidades) serão agregados. Isso corresponderia a um plano de

demanda. Portanto, o Método de Valoração à Contingente (MVC) consiste na criação de mercados hipotéticos a partir de uma pesquisa de campo para estimar valores de DAP ou DAA. A pesquisa de campo é realizada por meio de questionários, os quais buscam espelhar o mundo real, de forma que as respostas indiquem o verdadeiro valor que o indivíduo estaria disposto a pagar (ou receber) pelo bem em questão caso existisse um mercado real para o mesmo.

No caso da bacia do Gravataí, o “mercado” ainda não existe, mas a cobrança pelo uso da água é uma realidade premente, considerando-se o avanço da implantação do sistema de gerenciamento de recursos hídricos no Rio Grande do Sul.

O MVC incorpora a aleatoriedade no processo de maximização de utilidade e pode ser obtido a partir de diversas técnicas. No caso do estudo da bacia do rio Gravataí, primeira experiência desenvolvida neste caso, foram adotadas as técnicas *Open-Ended* e do Referendo, sendo a primeira uma forma *direta* e o segundo um forma *indireta* de obter-se o valor para o bem analisado.

Com a aplicação do método do *Open-ended* perguntou-se diretamente qual o valor máximo que a pessoa está disposta a pagar pelo uso da água, da seguinte maneira:

*Sabendo que você atualmente paga apenas pelo serviço de distribuição de água, e que já existe uma lei estadual (LE 10.350/94) e uma lei federal (LF 9433/97) que permitem o estabelecimento da cobrança pelo uso da água, se você tiver certeza que essa lei será implementada, qual o valor máximo que você está disposto a pagar por utilizar a água na agricultura?*

No caso do referendo, o entrevistado é confrontado com um valor fixado pelo entrevistador, respondendo se, após uma reflexão sobre o valor anteriormente perguntado, aceitaria pagar o valor sugerido. O método do Referendo estima uma função de probabilidade para a DAP ou DAA com o uso do Sistema de Escolha Probabilístico (PCS), que utiliza modelos econométricos de escolha probabilística. O valor proposto foi de um centavo por metro cúbico (o que equivale a aproximadamente sete sacas/hectare). Pode-se perceber que o início da pergunta é igual ao método *Open-ended*, uma vez que inicialmente é feita apenas uma caracterização da situação, o que muda é a pergunta em si:

*“Sabendo que você atualmente paga apenas pelo serviço de distribuição de água, e que já existe uma lei estadual (LE 10.350/94) e uma lei federal (9433/97) que permitem o estabelecimento da cobrança pelo uso da água, se você tiver certeza que essa lei será implementada, você estaria disposto a pagar um centavo de reais por metro cúbico por utilizar a água na agricultura?”*

O valor utilizado para questionamento sobre a DAP foi o apresentado por Magna (1996) no estudo da bacia do rio dos Sinos, na qual a agricultura irrigada não é a base da economia da região e há problemas de quantidade e qualidade para o abastecimento público e industrial nas maiores cidades da bacia, que estão localizadas no trecho final. Neste caso, o valor da água tende a ser mais elevado.

Os valores sugeridos foram, no momento da entrevista, transformados em sacos de arroz por hectare, por ser a unidade tradicional de negociação e valoração da lavoura.

Na bacia do rio Gravataí, foram entrevistados 27 produtores de arroz em dois municípios da bacia, Viamão e Santo Antônio da Patrulha, buscando diferentes condições de abastecimento, tamanho de propriedade e solos. O valor obtido como referencial para o preço da água foi de 2,56 sacos por hectare.

Na bacia do Quaraí, o mesmo questionário foi aplicado, mas em uma situação distinta. Os produtores de arroz entrevistados estavam em uma oficina sobre gestão de recursos hídricos com dois dias de duração, o que talvez explique o valor um pouco mais elevado para a DAP, que é de 2,7 sacos por hectare. Ao contrário do estudo do Gravataí, o valor estabelecido a partir dos dados coletados foi reapresentado aos irrigantes para sua validação, sendo posteriormente utilizado para a análise de efeitos.

A aplicação do Método dos Efeitos na análise da bacia do rio Quaraí buscou entender a relação entre um reordenamento do uso da água a partir da aplicação de critérios de gestão em uma situação onde não há o controle efetivo deste uso. A utilização deste método exigiu a formação de cenários futuros estimativos, o que só foi possível a partir da inserção dos pressupostos da legislação brasileira sobre gestão de recursos hídricos. Com isto, pode-se determinar o efeito na economia a partir da perda de áreas de arroz na bacia, para possibilitar o uso da água em outras atividades agrícolas (eucalipto) ou humanas (diluição de esgotos domésticos).

Embora esses estudos tenham sido realizados dentro do plano da pesquisa e visando a obtenção do objetivo principal, entendeu-se que deveriam ser utilizados apenas os resultados principais dos mesmos, por já terem sido publicados.

Estas informações foram completadas com entrevistas realizadas no Chasqueiro e em três perímetros irrigados em Portugal, que foram comparadas com as levantadas na revisão bibliográfica.

No caso da entrevista aplicada no Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro, considerando-se as especificidades da bacia e do Comitê correspondente, foram analisadas as opções de valores referenciais existentes para a lavoura de arroz no Rio Grande do Sul, que são os obtidos nos estudos das seguintes bacias: do Quaraí; e do Gravataí, com valores mais elevados e em bacias com maiores limitações; do Pardo-Pardinho (Alvim e Carraro, 2006); e do Santa Maria (Forgiarini et alli, 2007 ) que foi o referencial adotado durante a entrevista.

No caso da irrigação em Portugal, o mesmo questionário desenvolvido por Stampe (2007) foi aplicado junto aos projetos de irrigação selecionados. O valor referencial para o questionário foi o definido na portaria do Instituto Nacional de Águas, ou seja, os gestores e irrigantes foram inquiridos sobre um valor que teria sido estipulado pelo órgão responsável para ser aplicado no ano agrícola seguinte, embora o mesmo não tivesse sido oficializado até a data das entrevistas. As entrevistas foram registradas e eventuais discrepâncias foram retomadas com os entrevistados em outras ocasiões.

Quanto à gestão, o processo de operação dos sistemas coletivos portugueses e do Chasqueiro foi definido com base nas entrevistas com o gestor e acompanhamento a campo dos canaleiros e cantoneiros, observando a sua prática e questionando a sua lógica de manobras frente às situações possíveis.

## **5.2. – Medidores de vazão em canais de irrigação**

Para os estudos hidráulicos sobre medidores de vazão em canais de irrigação foram utilizados protótipos de laboratório e estruturas reais.

Em laboratório, os estudos foram realizados inicialmente no Laboratório de Ensino do IPH, sendo repetidos no Laboratório de Hidráulica da Universidade de Évora e complementados no Laboratório de Estruturas Hidráulicas do IPH.

### **5.2.1 – Ensaios realizados no IPH e no Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro**

Na primeira fase, foram adotadas tubulações comerciais de PVC apoiadas no fundo do canal do IPH. O canal tem seção retangular, revestimento em cimento alisado de ótima qualidade e inclinação de fundo igual a 0,002 m/m. A vazão é determinada na admissão do sistema, com o uso de um vertedor retangular de parede delgada. O fornecimento de água é garantido por um reservatório de nível constante e a vazão é regulada por uma válvula gaveta.

Uma série de experimentos foi realizada para verificar a validade das equações pesquisadas, a definição dos erros cometidos e sua relação com a vazão. Foram utilizados dois tubos, de 100 e 150 mm de diâmetro externo. A fixação dos tubos no canal foi realizada pela simples colocação de pesos metálicos no seu interior.

Verificadas as condições de funcionamento, foi instalado um vertedor apoiado no fundo de um canal não revestido no sistema do arroio Chasqueiro. A seleção deste local foi realizada pelo gestor do sistema, considerando-se as condições ótimas para o estabelecimento de um regime uniforme (trecho retilíneo de características constantes), baixas velocidades e facilidade de acesso para medição. Neste caso específico, o canal era alimentado por uma instalação de recalque que recuperava água do sistema de drenagem. Esta instalação poderia ser utilizada para complementar a vazão necessária no sistema de canais, no caso de ocorrência de um período de estiagem significativo. Por outro lado, uma lavoura situada no início do canal poderia também ser alimentada a partir do sistema de canais; nesse caso, a direção do escoamento seria invertida, o que não seria um problema para essa estrutura.

Para a construção do vertedor foram utilizados tubos de esgoto de concreto, com diâmetro externo de 0,5 m. Uma sapata de concreto magro foi implantada no fundo do canal, sendo os tubos assentados diretamente sobre ela. As paredes do canal, de seção trapezoidal, foram recobertas em um trecho de 10 metros de cada lado com uma tela

metálica flexível (tela de galinheiro), fixada nos taludes com estacas de madeira. Sobre esta tela foi aplicada uma camada de concreto, revestindo apenas essa seção de medição para possibilitar a colocação de réguas apoiadas. O custo do material desta estrutura foi de R\$ 1.200,00, para um vertedor de 5 metros de crista.

A figura 30 mostra a estrutura implantada e observa-se que o nível da água é superior na parte superior da fotografia, que corresponde à alimentação do trecho do canal a partir do sistema principal. O trecho inferior é o atendido a partir da estrutura de recalque, que não operou na safra na qual foram tomadas as informações utilizadas.

Considerando-se previamente a possibilidade de não operação deste sistema, foram estudadas as possibilidades de medição de vazão a partir das estruturas existentes. Foram utilizados os bueiros e as comportas transversais existentes nos canais principais.

Foram selecionados sete pontos de controle de vazão nos canais de distribuição, de acordo com a experiência do gestor do sistema, que está no cargo há 12 anos:

- Estrutura de controle 2 do canal C 2.1
- Estrutura de controle 4 do canal C 2.1
- Canal C1, bueiro 6 (dois bueiros independentes)
- Canal C1, bueiro 12
- Canal C2, bueiro 4
- Canal C2, bueiro 8
- Canal C2, bueiro 10 (dois bueiros independentes)

Cada uma destas estruturas foi levantada com topografia de campo, sendo medidas as cotas de montante e de jusante, comprimento, diâmetro do bueiro, altura da comporta, abertura mínima e máxima da comporta.



Figura 30 – Vertedor construído com tubos de concreto em canal do sistema de irrigação do arroio Chasqueiro

Foram instaladas réguas linimétricas nas paredes de montante e de jusante, sendo o referencial o ponto mais baixo do bueiro. Assim, o zero da régua de montante refere-se à geratriz inferior do bueiro a montante, enquanto que o zero do bueiro de jusante está amarrado à geratriz inferior do bueiro de jusante. A instalação de réguas é mostrada na figura 31.



Figura 31 – Colocação de réguas de medição na seção de jusante de uma estrutura de controle

Com o auxílio dos canaleiros, foi determinada a forma de abertura das comportas, ficando consolidado o critério de operações de módulo igual a 1,0 (um) centímetro, que já era adotado pelos operadores. Este valor é determinado pela medida da rosca do parafuso sem fim que fica exposta acima do volante, com o uso de uma trena metálica simples. O operador gira o volante até que esta medida seja um valor inteiro, considerando a unidade de medida.

Uma comporta típica deste sistema é apresentada na figura 32.



Figura 32 – Estrutura de controle do sistema de irrigação do arroio Chasqueiro, mostrando o volante e o parafuso sem fim. A comporta da esquerda mostra um *vertedor tulipa* acoplado, responsável pela segurança do canal.

Os canaleiros foram orientados a medir os níveis de montante e jusante e a abertura da comporta em todas as operações realizadas. O dia e a hora de cada operação também foram registrados, sendo um controle para cada estrutura.

Um esquema gráfico, apresentado na figura 33, foi fornecido para controlar a saída do bueiro, que poderia estar com um nível menor do que a metade, parcialmente cheio ou cheio, representando o escoamento como canal, uma situação próxima ao limite, indicando a possibilidade de formação de ressalto no interior do bueiro, ou como conduto forçado. A cada operação, o canaleiro assinalava a figura que melhor representava a situação de jusante.

ESTRUTUR A									
Área em irrigação	Data	hora	minuto	Leitura		Abertura comporta	Situação boca jusante		
				montante	Jusante				

Figura 33 – Ficha de coleta de informações sobre a operação de cada estrutura do Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro

Essa informação foi coletada como um controle da coleta do dado de jusante e também para confirmar a condição de escoamento calculada a partir das informações e do coeficiente de rugosidade adotado.

Pelos dados coletados, foi caracterizado o escoamento no bueiro, que poderia ser livre ou afogado; canal ou orifício; torrencial ou fluvial; controlado por montante ou por jusante.

Para cada situação, foi adotada uma formulação distinta e definida a vazão.

Foram realizadas duas campanhas de medição de vazões, com o uso de molinetes hidrométricos, sendo uma na safra 2007/2008 e outra na safra 2008/2009, e o levantamento topográfico dos pontos de medição, o que permitiu a aferição e a conferência das equações e a definição de elementos geométricos dos canais.

Com a vazão e o tempo, foram definidos os volumes que passaram em cada estrutura ao longo da safra. Com a vazão e a área irrigada dia a dia, foram calculadas as vazões específicas médias na safra 2008/2009, ou seja, as relações entre a vazão determinada na estrutura em um determinado dia e a área que estava sendo atendida por esta água.

## 5.2.2 – Ensaios realizados na Universidade de Évora

Durante o estágio em Portugal, os ensaios de laboratório foram retomados, considerando-se a possibilidade de refinamento dos parâmetros encontrados de escoamento sobre os tubos, a análise de novas equações obtidas em novas referências bibliográficas, como a de Fawer, e a simulação em outras condições de ensaios, especialmente as possibilitadas pelo uso do canal controlado do NUHCC.

- Ensaios em laboratório

Nos ensaios realizados no Laboratório de Hidráulica da Universidade de Évora foi inicialmente utilizado o canal fornecido pela empresa Armfield, apresentado na figura 34. Este é composto de um trecho retilíneo de 7,2 m, com paredes paralelas em vidro, inclinação regulável, câmara de amortecimento na entrada e dissipação de energia na saída. Há uma comporta de fundo que permite elevar o nível da água a jusante. Os acessórios que acompanham este canal e de interesse do experimento são um vertedor triangular, de parede delgada, um vertedor de parede espessa e um perfil Creager. As opções de medição de vazão passam pelo uso destes acessórios, sendo que, após simulações, foi adotado o vertedor de parede espessa localizado no final do canal. Desta forma, obteve-se um trecho com menor influência da estrutura de medição. No caso do laboratório da Universidade de Évora, para implementar o vertedor proposto foram utilizadas tubulações metálicas, com diâmetros externos de 75, 90 e 110 mm, visando verificar a influência dos diâmetros no comportamento das equações selecionadas.

A vazão do sistema é mantida por um sistema de bombeamento que faz a água circular em um circuito fechado, composto ainda por quatro reservatórios inferiores interligados. O comportamento do sistema de bombeamento foi monitorado por um manômetro diferencial colocado em dois pontos da tubulação de adução, sendo as leituras de vazão com o uso dos vertedores e dos níveis da água no canal a montante e a jusante do tubo ensaiado realizadas após confirmação da manutenção da perda de carga nessa tubulação, verificada pela estabilidade da leitura do manômetro. No entanto, entende-se que pequenas variações de vazão devem ser consideradas como fontes de erro neste sistema.



Figura 34 – Canal do Laboratório de Hidráulica da Universidade de Évora

O acionamento do canal com vazões mais elevadas gerava ondas que influenciavam as leituras de nível, principalmente nos primeiros metros do canal. O amortecimento destas ondas foi realizado com a implantação de um dissipador de energia montado com o uso de canudos plásticos, confinados em uma estrutura prismática que ocupou toda a largura do canal e com uma altura superior à altura referente à vazão máxima permitida pelo sistema de bombeamento. Este amortecedor é apresentado na figura 35

Uma ponta linimétrica móvel, que podia ser deslocada sobre trilhos paralelos ao fundo do canal, possibilitou a determinação das alturas a montante, sobre a crista, a jusante do tubo, a montante e sobre a crista do vertedor de parede espessa. Estes trilhos também podem ser observados na figura 35.



Figura 35 – Sistema de amortecimento de ondas na entrada do canal

Com a alteração da lógica de posicionamento do tubo, com a formação de um orifício e um vertedor, cada um dos três tubos recebeu uma porca soldada, à qual era inserido um fuso metálico construído nas oficinas da Universidade. A outra ponta deste fuso era conectada com uma luva que tinha roscas invertidas nas duas extremidades. Na extremidade inferior, um outro fuso, de extremidade cilíndrica e sem rosca era inserido. A extremidade lisa era colocada em um orifício existente no próprio canal. Assim, o giro da luva permitia a elevação ou o abaixamento do tubo, sem a necessidade de retirá-lo do canal, facilitando a colocação do tubo em diversas alturas e sem a necessidade de fixá-lo contra as paredes de vidro.. A figura 36 apresenta o tubo apoiado sobre o fuso, verificando-se também a posição da luva.

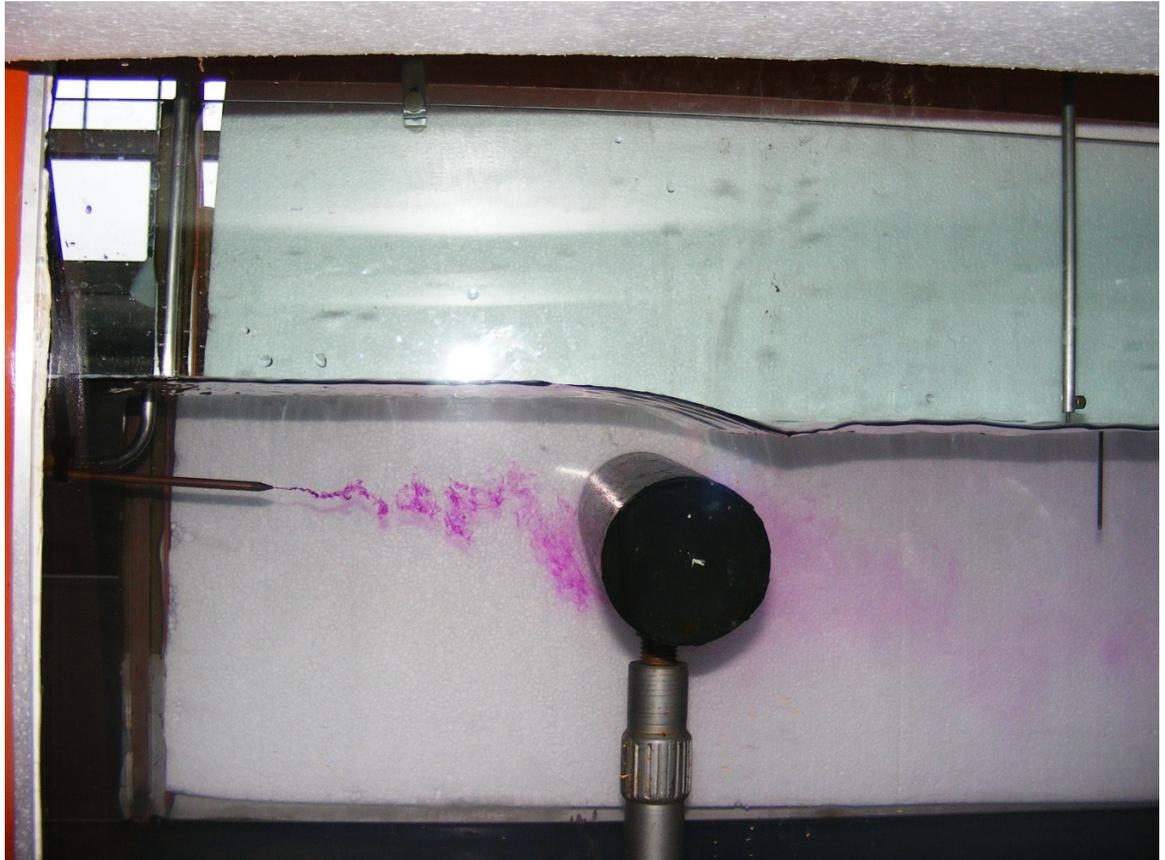


Figura 36 – Estrutura de ensaio com tubo de diâmetro de 75 mm e haste de elevação – ensaio com uso de solução de permanganato de potássio

O estudo das linhas de fluxo sob e sobre o tubo exigiu o uso de corantes para definir visualmente a distribuição da água entre o orifício e o vertedor, como forma de confirmar uma das hipóteses de cálculo (Akerman e Martín, 2005), que considerava uma igualdade entre as velocidades de escoamento. Uma ponta metálica oca foi adaptada à sonda de Prandtl, pela qual foi injetada, inicialmente, uma solução de permanganato de potássio. Depois, optou-se por tinta preta para caneta tinteiro, que permitiu um melhor contraste para a obtenção de imagens.

- Ensaios no canal externo

Os ensaios no canal do NUHCC foram realizados após a recuperação desta instalação e reajuste de todos os sensores eletrônicos, responsáveis pela leitura dos níveis

da água em diversos pontos dos canais e dos reservatórios, bem como de calibração do programa de controle de vazão e níveis, que utiliza o software SCADA.



Figura 37 – Vista geral do canal do NUHCC – Canal superior, canal inferior, comportas planas, tomadas de água e caixa de sensores de nível.

O sistema de canais do NUHCC apresenta dois reservatórios (inferior e superior) e dois canais (superior e inferior). O canal superior é controlado por três comportas planas, junto às quais existem três tomadas de água. Ao final do canal superior, há uma *over shot gate*. As tomadas de água e a saída da *over shot gate* são direcionadas para o canal inferior, que possui uma comporta hidromecânica AMIL e um vertedor tipo bico de pato, que controlam o nível de água sobre dois conjuntos de módulos de vazão. Do canal inferior e dos módulos de vazão, a água retorna para o reservatório inferior. A vazão no sistema do NUHCC é controlada por uma válvula MONOVAR e sua medição é realizada por um medidor ultra-sônico. Há o controle dos níveis dos reservatórios inferior e superior e da

rotação de uma das duas bombas que fazem a ligação entre os dois reservatórios. A partir da definição do nível do reservatório superior, o sistema de gerenciamento controla a abertura da válvula MONOVAR, permitindo a manutenção de uma vazão constante. A segunda bomba não possui controle de rotação, sendo ligada e desligada de acordo com a necessidade de elevação do nível no reservatório superior. O funcionamento de todas as estruturas e o controle do nível em todos os pontos do sistema é controlado pelo SCADA.

O canal superior, que apresenta uma declividade de 0,0015 m/m, 0,15 m de base e inclinação das paredes igual a 1V:0,15 H. (Rijo, 2003). O outro, no canal de retorno, com base de 0,23 m e inclinação das paredes de 1V:1,428H, conforme apresentado pelas figuras 38 e 39.

Para estes ensaios, foram colocados tubos nos canais trapezoidais superior e inferior, mostrados na figura 37. Foram utilizados tubos plásticos de dois diâmetros distintos, 110 e 200 mm. A fixação destes foi realizada por meio de colocação de pesos no interior dos tubos. As extremidades dos tubos foram cortadas com a mesma inclinação dos taludes, de forma a obter-se o melhor ajuste possível e considerando-se que os mesmos não poderiam danificar as paredes dos canais.

Definidas as posições dos tubos, foram coladas escalas às paredes do canal para determinação das alturas de montante, jusante e sobre a crista para a série de vazões ensaiadas, cujas leituras foram corrigidas pela inclinação dos taludes para a definição das alturas de montante e jusante. Para o trecho superior, as velocidades são maiores, pois a seção é propositalmente pequena, permitindo a medição com uma variação maior das alturas. As figuras 38 e 39 mostram os tubos nos canais inferior e superior, respectivamente.



Figura 38 – Tubo e escalas de medição colocados no canal trapezoidal inferior do NUHCC

Foi necessário eliminar a formação das ondas a montante da tubulação colocada no canal inferior, que apresentava uma oscilação excessiva por conta da passagem do escoamento pela comporta *over shot gate*. Para isto, foram utilizadas grades metálicas e telhas cerâmicas, que permitiram a tranquilização do escoamento, como mostra a figura 40. Estabilizada a vazão, foram realizadas as respectivas leituras dos níveis de montante e jusante e sobre a crista do vertedor.

A partir dos dados coletados, a análise dos resultados foi realizada a partir da comparação dos valores medidos com os estimados pelas diversas equações utilizadas. Para cada valor coletado, foi determinado o erro em relação ao valor medido, definindo-se qual a melhor equação e quais os melhores fatores de ajuste encontrados.



Figura 39 – Tubo e escala colocados no canal trapezoidal superior do NUHCC



Figura 40 – Amortecimento das ondas provocadas pela *over shot gate*

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Sobre a aplicação do Princípio Usuário-Pagador

Durante o estágio realizado junto à Universidade de Évora, foram contatados os gestores de três perímetros irrigados públicos onde o arroz é a principal cultura irrigada. Os perímetros visitados foram o do Vale do Sado e do Vale do Sorraia e mais o distrito do rio Mondego, sendo o primeiro ao norte e os outros dois ao sul de Lisboa. Os gestores e representantes dos irrigantes foram entrevistados para a obtenção das informações necessárias para correlacionar o comportamento dos irrigantes gaúchos com o dos portugueses.

Os valores obtidos pelos métodos de Valoração Contingente e Elasticidade Preço-demanda nas entrevistas na bacia hidrográfica do rio Gravataí permitem definir os patamares possíveis da taxa pelo uso da água para irrigação no Rio Grande do Sul e em bacias com conflitos quali-quantitativos, e podem ser testados em outras bacias em situação semelhante.

Para análise da Disposição a Pagar, foi utilizado o valor referencial estabelecido pelo projeto do governo português para a implementação efetiva da Lei 58/05, de 29 de dezembro de 2005 (Rijo, 2007). A proposta, de março de 2007, regulamenta o artigo 6º de lei, que determina o Regime Econômico e Financeiro e a Taxa de Recursos Hídricos (TRH), calculada como:

$$TRH = A + E + I + O + U$$

Sendo:

- A – utilização de águas do domínio público hídrico do Estado
- E – descarga de efluentes
- I – extração de inertes
- O – ocupação do domínio público do Estado
- U – utilização de águas sujeitas a planejamento e gestão públicas

Para os perímetros públicos de irrigação, as parcelas a serem cobradas são a A e a U.

No caso do Vale do Sorraia, a parcela A seria de €0,003/m<sup>3</sup> e a parcela U igual a €0,0006/m<sup>3</sup>. A parcela A é majorada pela aplicação de um coeficiente de escassez hídrica, que varia de 1 a 1,2, sendo a porção sul de Portugal a mais seca e com o maior valor para este coeficiente. Para os Vales do Sorraia e do Sado, este valor é de 1,1; para o Baixo Mondego, o coeficiente é igual a 1.

Estes valores ainda devem considerar a eficiência do transporte e da distribuição, uma vez que a cobrança será sobre a água armazenada. O valor considerado como média foi 60%, considerando-se os históricos dos projetos.

O cálculo final da TRH fica apresentado da seguinte maneira:

$$\text{TRH} = (\text{€ } 0,003 \times 1,1 + \text{€ } 0,0006) / 0,6 = \text{€ } 0,0065/\text{m}^3$$

Em relação aos valores pagos até 2007, referentes apenas à TEC – Taxa de Exploração e Conservação, esta nova taxa significaria um acréscimo de cerca de 60% no custo da água.

A mudança de paradigma sobre a cobrança pela água só ocorrerá de fato e de forma eficaz se induzir a economia deste recurso, o que só pode ocorrer se a unidade de arrecadação for o volume consumido. Em Portugal, observa-se a preocupação do irrigante em utilizar a menor quantidade de água possível nos sistemas do Sorraia e do Sado, que são cobrados por volume, não ocorrendo o mesmo no vale do Mondego, onde há a cobrança por área. No sistema do arroio Chasqueiro, a determinação da vazão aponta para consumos unitários diferentes entre os trechos do mesmo canal, mas, como a cobrança é por área, não há iniciativas dos irrigantes em aumentar a sua eficiência no uso da água. As perdas no sistema não são determinadas pelos gestores do Mondego e do Chasqueiro, sendo que as lavouras ao longo do sistema de canais terminam por receber volumes de água acima do necessário.

No entanto, cobrar por volume exige medição de vazão e totalização das informações, de maneira ágil, segura, econômica e confiável. Assim, de posse dos valores de vazão, a proposta mais racional seria implementar a cobrança pelo volume total ou pelo volume médio entregue aos irrigantes do trecho regulado.

Em canais de irrigação não revestidos e com baixas declividades, as opções de medição de vazão são poucas e, quando não são caras, são pouco exatas. Uma possibilidade a ser discutida é a possibilidade de aproveitar estruturas existentes, como bueiros, para a determinação da vazão conduzida pelo sistema de canais. A adoção de sensores de pressão também é uma possibilidade, mas a sua confiabilidade quanto a funcionamento nas condições de campo, assim como a comunicação com uma estrutura de gestão centralizada e o armazenamento dos dados, são fatores que já se demonstraram críticos em condições reais.

As entrevistas realizadas são apresentadas a seguir.

- Entrevista com o produtor e Engenheiro José Nunes – Vale do Sorraia

Além da gerência técnica do perímetro, o Engenheiro José Nunes é o responsável por uma área irrigada de 115 hectares, sendo 90 hectares com arroz e 25 hectares com milho.

O volume anual faturado pela Associação dos Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia é da ordem de 103hm<sup>3</sup>, sendo que o volume útil armazenado varia entre 130 e 140hm<sup>3</sup>, com perdas de 20hm<sup>3</sup> por evaporação direta do lago.

Os lotes não irrigados pagam uma taxa de pousio de €10/hectare. O custo de pessoal corresponde a 80% do valor faturado, restando pouco para recuperação ou modernização do perímetro, sendo que a obra de Paul de Magos é da década de 40.

O custo de produção do arroz é de €1.300,00 por hectare, enquanto que a receita bruta é igual a €1.500,00 por hectare. Esta margem é ampliada com a percepção de subsídios da Comunidade Económica Europeia que situavam-se, em março de 2008, em cerca de € 600,00 por hectare, mas de forma variável entre os agricultores. Para receber este subsídio, o produtor enfrenta uma burocracia significativa e é submetido a um rígido controle. A limitação da aplicação de nitrogênio na adubação de base e em cobertura, o uso de sementes certificadas, o período de preparo do solo fora da estação mais chuvosa e a obediência a normas agroambientais são alguns dos controles realizados. O consumo de água situou-se próximo a 14.000 m<sup>3</sup>/vem, com um custo unitário de € 0,0111/m<sup>3</sup> e um valor

total de € 150/vem. A aplicação do método de valoração contingente revelou uma disposição a pagar inicial de €10/hectare ou €0,0007/m<sup>3</sup>. A partir da apresentação do valor proposto pela Lei 58/2005, o produtor se dispôs a pagar € 0,0036/m<sup>3</sup> líquidos ou € 0,0065/m<sup>3</sup> pela água armazenada nos reservatórios ou € 91/hectare.

Quanto à aplicação da nova determinação legal, o Engenheiro comentou que há uma forte indisposição a pagar, pois os valores arrecadados seriam inicialmente destinados à instalação da organização necessária e não para a gestão e o controle efetivo dos recursos hídricos. Também colocou que a federação nacional dos irrigantes (FENAREG – Federação Nacional de Regantes de Portugal) não foi consultada antes da emissão final da lei, mesmo sendo um dos setores mais interessados no tema. A avaliação da FENAREG (do qual o entrevistado é um dos diretores) é que a cobrança terá impactos positivos, mas a atual condução do órgão responsável (INAG – Instituto Nacional de Águas) visa apenas ao valor arrecadado, e não à preservação do meio ambiente, implantando um sistema de gestão muito centralizado. Mas salienta que a cobrança deve mesmo ser implantada, pois na Espanha a previsão é que em 2010 já esteja sendo aplicada uma taxa de irrigação e a França já cobra €10/hectare irrigado. Por uma questão de competição por mercados, coloca que o ano de 2010 também deveria ser adotado por Portugal e não 2009 (como previsto na época).

O Engenheiro também analisa a situação do mercado do arroz e de outros cereais. Entre 2005 e 2006, os preços dos cereais estavam baixos, sendo que houve uma elevação por conta do avanço dos bio-combustíveis. Assim, nos anos de 2007 e 2008, os preços dos produtos subiram, mas acompanhados pela elevação do preço dos insumos.

O preço de proteção do arroz na Comunidade Econômica Européia é de € 0,25/kg, sendo que este preço iniciou uma queda há três anos, acompanhando o valor internacional de €150/tonelada. Há um regulador comunitário da política agrícola, que é a OCM – Organização de Comando do Mercado. Esta organização define o preço de referência e os subsídios comunitários. Em 2001 e 2002, houve um auxílio para a lavoura de arroz de €200/hectare mais €280/tonelada colhida. Em 2004 e 2005, este subsídio foi de €1.000/hectare mais €150/tonelada colhida. Com a reforma de Política Agrícola Comum (PAC), esta ajuda atualmente é de € 450/hectare e mais €550/hectare pelo histórico dos

subsídios anteriores, mas apenas para os agricultores que tinham recebido este auxílio. Atualmente, o subsídio incentiva a produção de 25.000 hectares de arroz em Portugal, com um subsídio básico de €450/hectare.

- Entrevista com o Sr. Antonio Ferreira Lima – Baixo Mondego

O Sr. Antonio Lima é o administrador da propriedade denominada Quinta de Foja, sendo responsável pelo plantio de 160 hectares de arroz. Os custos de produção foram apresentados em planilhas atualizadas. Questionado sobre a decisão de plantio de arroz, responde que as condições da terra impõem este cultivo, que esta decisão não depende do valor de venda do produto e que o consumo de água não depende do preço, mas de recomendações técnicas. Perguntado sobre a disposição a pagar, o administrador revela uma posição interessante, na qual inclui os subsídios recebidos. Para cada hectare de arroz na safra de 2006, o custo calculado para o plantio do solo realizado a seco era igual a €988 e com plantio realizado com lama de €981. Em termos de receita, a venda do produto (produtividade de 6.300 kg/ha) gerou € 1323, com uma margem de € 342/ha ou 34,4% de rentabilidade média entre os dois sistemas de preparo do solo, sem contar o custo da água, que foi apenas de € 2,50/ha. No entanto, a propriedade recebeu os seguintes subsídios para cada hectare cultivado: Regime de pagamento único (€ 396,80), Agroambientais (€ 505,80) e Prêmio específico (€ 438,78), com um total de €1341,38, ou 136% do custo de produção ou 101% do valor da produção. Considerando a margem de produção e os subsídios somados (€ 1680), estes representam 80% do ganho recebido pela lavoura. Por isso, o administrador não vê problemas em pagar o previsto no projeto do governo de Portugal, que seria um valor de €0,0036/m<sup>3</sup> (ou €43,2/ha, para um consumo estimado de 12.000 m<sup>3</sup>.ha), mesmo que isso representasse uma redução de cerca de 13 % de sua margem de produção. Na comparação com a lavoura de milho, a importância dos subsídios na lavoura de arroz fica ainda mais evidente. Cada hectare de milho recebeu €490, devido a compensações agroambientais, o que somado a margem de produção resultou em um ganho de cerca de €700/hectare, para uma produtividade de 11500 kg/hectare, cifra elevada para os padrões correntes.

- Entrevista com o Sr. Mateus Rosa – Vale do Sado

O Sr. Mateus Rosa é o presidente da Associação dos Regantes e Beneficiários do Vale do Sado. A sua entrevista foi realizada em duas etapas, por inconsistência em algumas respostas, que se demonstraram importantes na formulação do contexto.

Este produtor cultivou 36,16 hectares com arroz em 2007, com uma rentabilidade média de 6.200 kg/hectare. O arroz foi vendido a um valor de €310/tonelada. Na área de plantio de arroz, não há outra opção de cultivo, pelo teor de sais no solo. O consumo da água foi igual a 15.500 m<sup>-3</sup>.ha, sendo pagos €0,015/m<sup>3</sup>, mais €34 por hectare. Sobre a disposição a pagar, inicialmente o produtor citou um valor de €0,005/m<sup>3</sup>, mas aceitou o valor proposto de €0,0065/m<sup>3</sup>.

Questionado sobre a lucratividade do arroz, na primeira entrevista o produtor afirmou que a lavoura não lhe dava nenhum retorno líquido e que sua renda pessoal era oriunda de proventos de aposentadoria, do cargo de gerente de uma instituição financeira. Ele disse ainda não saber do custo exato da lavoura. Isso seria incoerente com o esperado para uma atividade produtiva (e com a antiga profissão do entrevistado), sendo que o produtor estaria disposto a transferir todo o seu excedente para a sociedade.

Em um segundo contato, o produtor, sendo confrontado com os dados de suas respostas, revelou uma lucratividade líquida entre 8% e 15%. Além disto, recebia uma grande soma de subsídios por hectare cultivado e colhido, que deixariam de ser pagos caso ele abandonasse a atividade agrícola. Entende, ainda, que se a cobrança pela água for realmente implementada, haverá a criação de um novo subsídio, de valor idêntico ou próximo ao da taxa, de tal forma que não onere o produtor. O Sr. Mateus revelou ainda que a lavoura de arroz estava saindo da pauta de subsídios da Comunidade Econômica Européia e que a recente elevação do mercado internacional de grãos, motivada pela possibilidade de fabricação de etanol combustível a partir do milho, fez com que fosse mantido um subsídio correspondente a uma área de 25.000 hectares de arroz em Portugal.

- Entrevista com o Eng. José Núncio – Vale do Sado

O engenheiro José Núncio é o responsável técnico pela operação do sistema de irrigação do Vale do Sado. Segundo ele, o nível de perda do sistema é de 21%, do total armazenado, considerando-se a água que se encontra nos reservatórios e as efetivamente

distribuídas, sendo que este valor mantém aproximadamente constante ao longo dos últimos anos. Estas perdas são distribuídas no rateio dos custos de operação e manutenção, sendo consideradas nos cálculos de todas as taxas. Os volumes excedentes são redistribuídos entre os usuários desde a década de 50. Cada usuário recebe a informação do volume consumido a cada 15 dias. O valor referencial é normalmente suficiente para a irrigação da lavoura, não sendo normal o pagamento de sobretaxa por um consumo excessivo. Não há inadimplência no perímetro. Os irrigantes são predominantemente pequenos (50% do total), que possuem menos de 40 hectares; os médios, com áreas entre 40 e 100 hectares, ocupam 25% do perímetro; os grandes, com áreas maiores que 100 hectares, são responsáveis pelos 25% restantes.

A cobrança da Lei das Águas irá significar um acréscimo de 46% no valor da água. O engenheiro espera uma pequena redução de área, principalmente entre os pequenos produtores, já que neste extrato a ocorrência de subsídios é menor, pelas dificuldades burocráticas e administrativas em obter e manter estes benefícios. A maior economia deverá ser observada entre os irrigantes mais velhos, que têm o maior consumo. Não é esperada uma mudança significativa na programação dos cultivos ou plano de irrigação (ou seja, não deve ser observada uma troca de cultivos de acordo com o princípio da elasticidade-renda). A existência de subsídios afeta diretamente o comportamento dos irrigantes. Perguntado se a Associação assumiria alguma parcela do custo oriundo da aplicação da Lei, o engenheiro descartou esta possibilidade, colocando que a FENAREG – Federação Nacional dos Regantes – estava questionando a aplicação da referida lei, principalmente por não ter sido consultada a respeito dos valores e da forma de cobrança, que incluirá os volumes de perda no armazenamento.

- Joaquim Carriconde Filho, Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro

O Eng. Joaquim Carriconde é o gestor do Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro há 12 anos, sendo também produtor rural. A gestão do sistema de irrigação é realizada pela abertura e fechamento de comportas transversais e pela abertura da comporta que regula a vazão afluente da barragem.

A entrevista realizada com o engenheiro Joaquim Carriconde revela três pontos importantes:

- Os irrigantes aceitariam o pagamento por volume, desde que confiassem na forma de medição e houvesse a combinação prévia quanto a isto;
- Se o pagamento for por volume, os irrigantes terão ainda mais cuidados na gestão da água. Neste caso, haverá uma demanda para fechamento de todas as tomadas de água no caso de ocorrência de chuva, o que exigiria uma ação muito eficaz por parte dos canaleiros. Se esta ação não ocorrer, o volume de reclamações irá aumentar;
- Os irrigantes só pagariam para a sociedade pelo uso da água se fossem obrigados a isso. O valor referido pelo estudo da bacia do rio Santa Maria, de 0,5% do custo de produção, seria aplicável.

Então, definida a forma de medir e aferida a sua precisão, uma cobrança da *taxa de distribuição* de água pode ser implantada já a partir do próximo ano (safra 2009/2010), enquanto que a cobrança *pelo uso da água* dependerá do início de operação efetiva do sistema de recursos hídricos, tanto federal como estadual.

## **6.2. Sobre a medição de vazão**

A partir dos dados de níveis, informações geométricas e abertura da comporta, foram calculadas as vazões que passaram em cada estrutura controlada no sistema de irrigação do arroio Chasqueiro

Cada estrutura apresenta uma série de valores própria, pois nem todas são operadas com a mesma frequência, embora sejam examinadas praticamente todos os dias. Os valores obtidos mostram que os canaleiros do sistema de irrigação do arroio Chasqueiro tendem a manter um mesmo nível a montante da estrutura de controle. Para as estruturas principais, foram calculadas as vazões totais, as vazões específicas e, depois, os valores de vazão específica sobre vazão específica média e da altura de montante sobre a altura média de montante, obtendo-se valores normalizados.

Os resultados da operação das estruturas também foram analisados preliminarmente com o gestor do sistema, que os considerou coerentes e de acordo com a sua expectativa.

As figuras 41 e 42 apresentam os valores absolutos da vazão específica e do nível a montante das estruturas denominadas de Controle 2 e Controle 4 do Canal C 2.1.

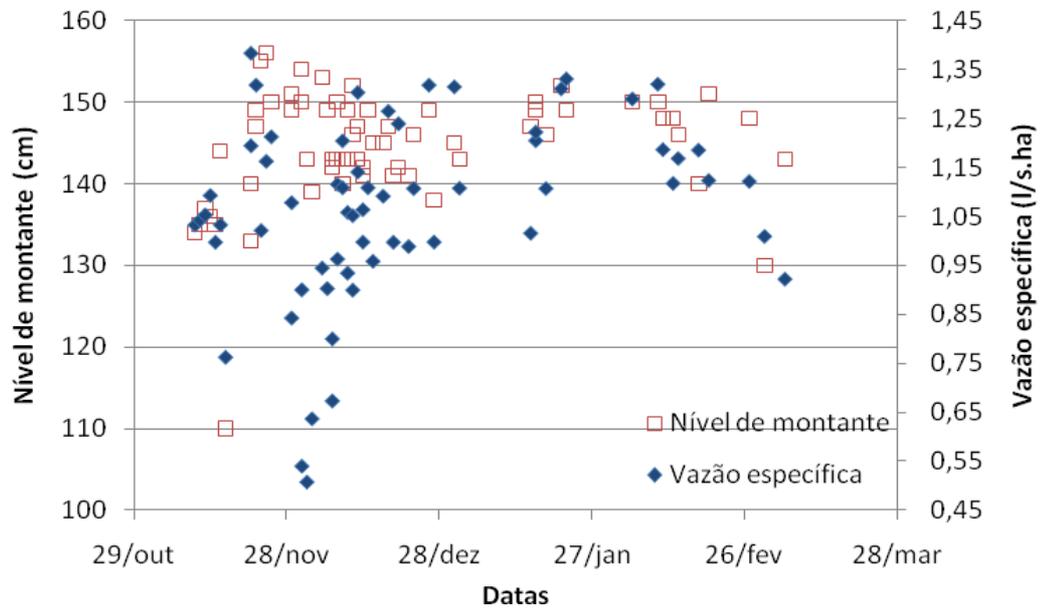
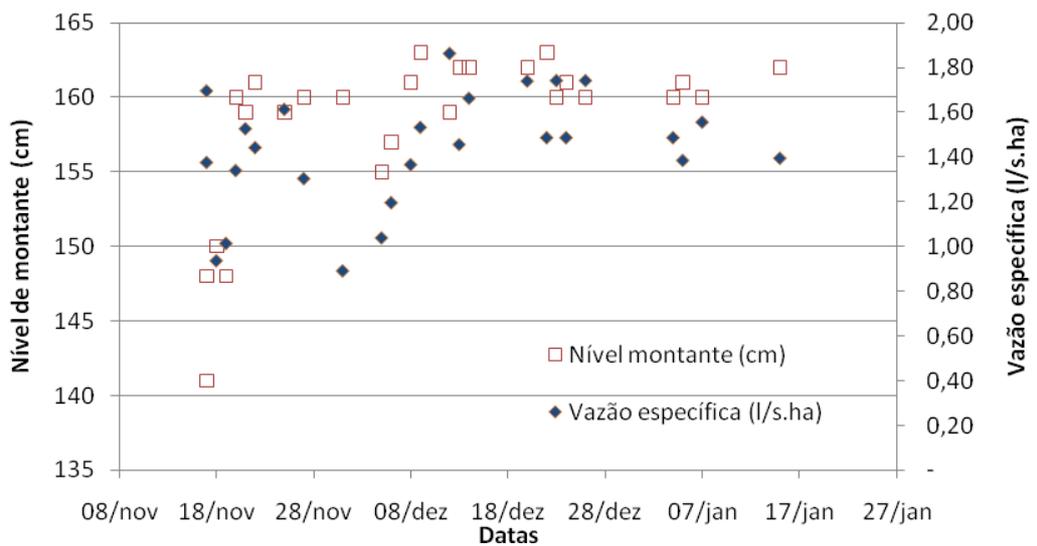


Figura 41 – Valores de vazão específica e nível a montante da estrutura de controle 2 do Canal C 2.1



Observa-se, na figura 43, a permanência do nível de montante no valor próximo do valor médio, com variação praticamente restrita ao valor mínimo de 90% do valor médio e no máximo 110% deste mesmo referencial. Em termos absolutos, apenas duas leituras ficaram fora deste intervalo, ou 3,03% das leituras, o que demonstra a pouca variabilidade do valor medido. O comportamento da vazão específica, no entanto, é muito irregular. Isso mostra que a variável de regulação é mesmo o nível e, neste caso, a operação é muito eficiente, pois mantém o nível com uma variabilidade entre +10% e -10%.

Já a vazão altera-se com uma amplitude muito maior. O uso da comporta obstruindo o bueiro permitiria um cálculo estimativo da vazão, mas não é essa a prática dos operadores ou do gestor do sistema. Mais da metade (53,03%) das medidas ficam fora do intervalo entre 90% e 110% do valor médio, indicando a busca por parte dos operadores de acertar o nível de montante às constantes variações de vazão sugeridas ou exigidas pelos irrigantes ou pelo gestor do sistema. Esta variação não indica uma falta de precisão ou de eficiência do manejo, mas a desvinculação entre o manejo e a vazão específica.

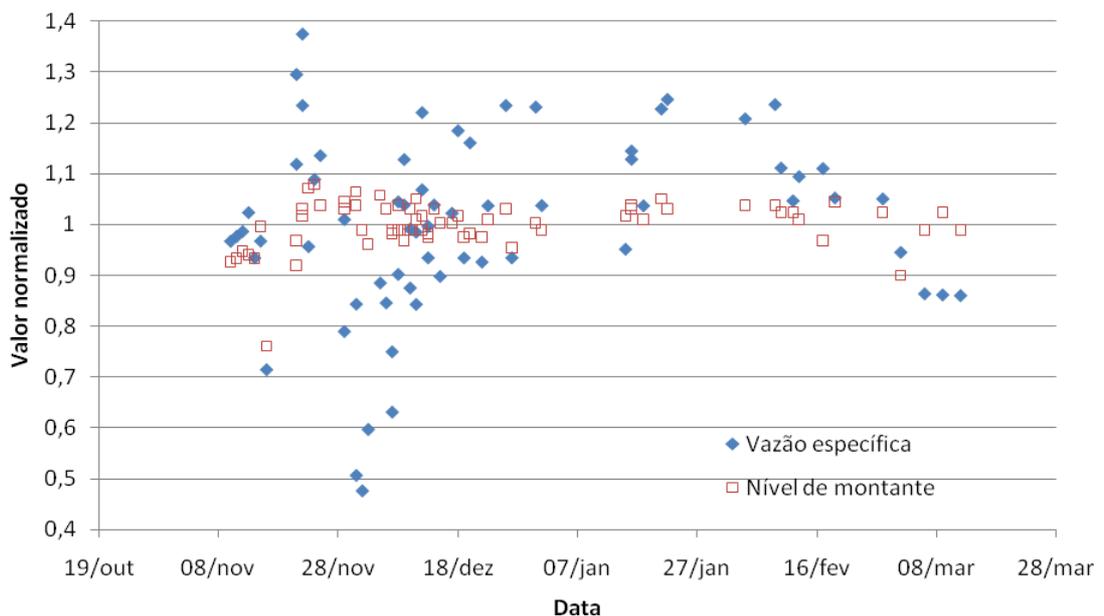


Figura 43 – Valores normalizados de vazão específica e nível de montante para o canal C2.1, controle 2

O mesmo comportamento é observado no controle a jusante do primeiro, conforme a figura 44.

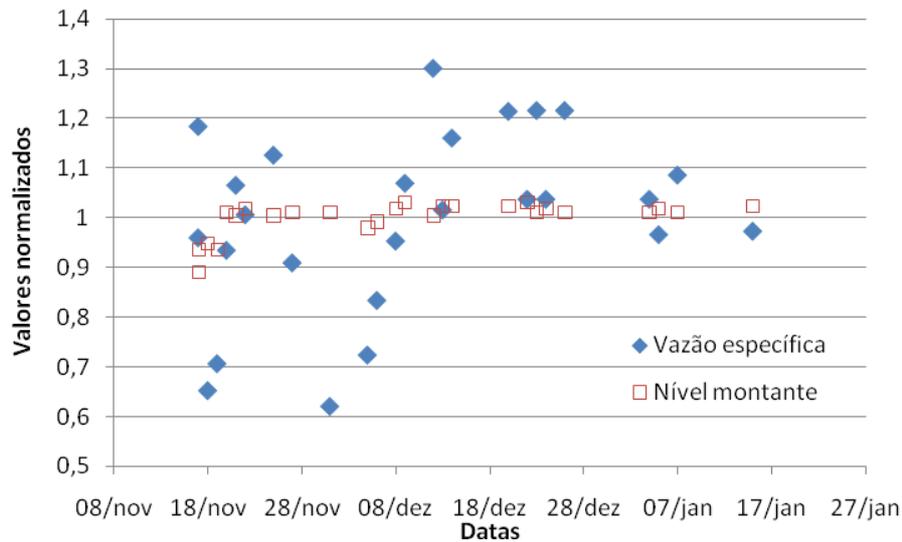


Figura 44 – Valores normalizados de vazão específica e nível de montante para o canal C2.1, controle 4

Neste caso, observa-se um controle ainda mais eficiente quanto à manutenção do nível a montante em relação ao valor médio, o que pode ter sido facilitado pelo manejo da estrutura a montante. Da mesma forma que a estrutura anterior, a vazão específica mostra variações importantes, principalmente no início da irrigação (entre novembro e dezembro).

Comparando-se a vazão específica entre os controles 2 (montante) e 4 (jusante) no mesmo canal (C 2.1.), verifica-se que os valores mostram uma situação não usual, pois a estrutura a montante do canal C 2.1 apresenta uma vazão específica menor do que a da estrutura de jusante em 45% do tempo, ou seja, os irrigantes a montante estariam utilizando menos água do que os de jusante. Esta situação tem uma explicação vinculada à forma de gestão da irrigação, na qual o sistema não apresenta perdas aparentes, pois toda a água é lançada para as lavouras. No entanto, a manutenção do nível no canal nos trechos regulados leva a um certo controle a montante, enquanto que o final do sistema receberá todo o volume excedente, independente da solicitação dos irrigantes. Assim, a vazão específica

pode ser maior a jusante. A figura 45 apresenta a comparação entre os dois controles quanto a vazão específica, utilizando como apoio uma reta com 45° de inclinação, representando a igualdade entre os valores de vazão específica.

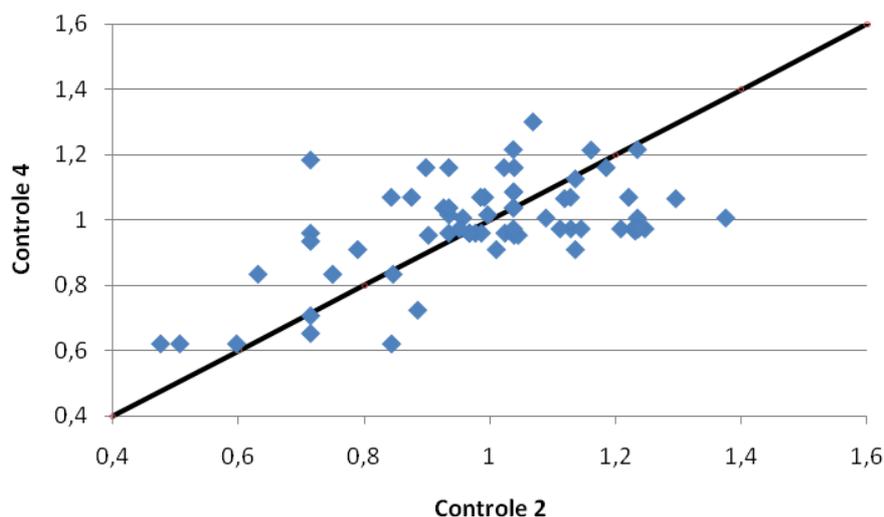


Figura 45 – Comparação entre a vazão específica (l/s.ha) dos controles 2 e 4, Canal C 2.1

Outra explicação possível seria a prevenção do gestor e sua equipe em lançar mais água para jusante, no intuito de compensar perdas na condução.

As perdas de água no sistema não foram medidas, mas puderam ser estimadas a partir das equações apresentadas no capítulo 4.

Para verificar a coerência das diversas equações de estimativa de perda de água em canais não revestidos, considerou-se o levantamento de diversas seções ao longo do sistema, bem como o valor da vazão medida com o uso de molinetes hidrométricos, realizada por hidrotécnicos do IPH. Para fins de comparação entre as equações, adotou-se como padrão a equação de Offengenden (45).

Considerando-se os valores medidos e estimados, a perda de água por infiltração varia entre 0,00018% e 0,00552% da vazão instantânea medida no levantamento de campo, coerente com a baixa importância desta perda destacada nos estudos analisados. No

entanto, a discrepância dos valores gerados pelas equações de estimativa de perda gera a necessidade de levantamentos específicos, como testes de infiltração nas paredes e no fundo dos canais do sistema, para a obtenção de coeficientes específicos de perda de água por km, por m<sup>2</sup> de seção ou por metro linear de paredes e fundo para os canais do sistema, de forma a refletir melhor as perdas envolvidas na condução e distribuição de água na época de irrigação.

Tabela 25 – Estimativa de perda de água em pontos distintos do Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro (l/s.m)

Equação	Canal			Em relação à Offengenden		
	C1	C2	C 1.4	C1	C2	C 1.4
Offengenden (4.44)	0,382243	0,1470	0,023	100,00%	100,00%	100,00%
Moritz (4.43)	0,580886	0,5232	0,384	151,97%	355,83%	1678,98%
Molesworth e						
Yennidumia (4.42)	0,019366	0,0169	0,010	5,07%	11,51%	44,42%
Espanha (4.46)	0,074324	0,0669	0,049	19,44%	45,53%	214,82%

Fonte dos dados primários: medida direta

Em algumas estruturas, foram obtidas curvas de vazão específica que apresentam um comportamento da vazão específica mais próximo ao esperado em relação à demanda da lavoura e o ciclo vegetativo do arroz para a região. Como exemplo, a figura 46 apresenta o comportamento da vazão no bueiro 6, situado no canal C1. Na curva da vazão específica, observa-se uma demanda maior no início, que é a época do enchimento dos quadros da lavoura, seguida de uma redução, correspondente à fase de crescimento vegetativo inicial. A vazão específica sobe no mês de dezembro e atinge um patamar máximo no final do ano. Mantém-se elevada no mês de janeiro e volta a diminuir no mês de fevereiro.

Este comportamento é compatível com a época de plantio e irrigação na região, que deve evitar que a floração ocorra no mês de fevereiro, quando podem ser registradas noites frias e a esterilização das flores.

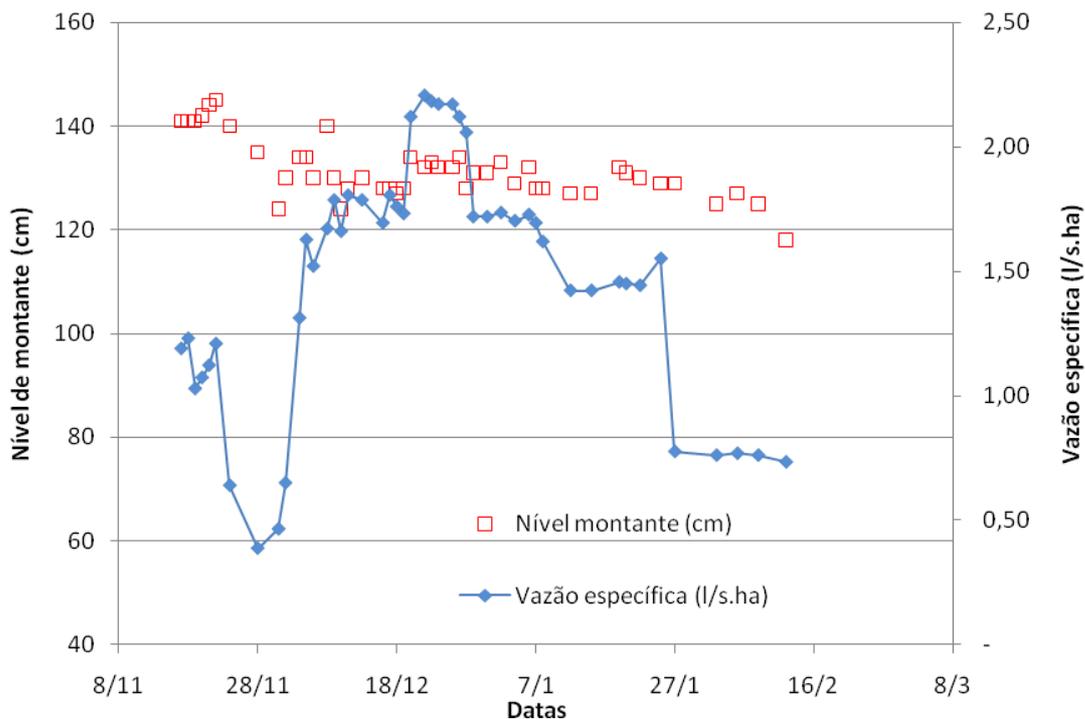


Figura 46 – Vazão específica e nível de montante no bueiro 6 do canal C1.

Os valores normalizados para esta estrutura também apresentam uma maior uniformidade do nível de montante, indicando que o operador específico pode ter um maior conhecimento ou experiência de controle, já que não há qualquer outra forma de controle. A variação da vazão específica em relação à média indica a existência de períodos mais favoráveis à coleta de dados representativos, no caso de buscar-se a análise do comportamento de uma safra em termos de consumo de água.

Nas estruturas que apresentaram uma série maior de valores, foi definido o volume de consumo médio por hectare, obtendo-se resultados entre 10.456,14 e 11.651,66 m<sup>-3</sup>.ha para a safra 2008/2009.

Estes valores, embora sejam menores que os adotados nas entrevistas para definir valores contingentes para a água (14.000 m<sup>-3</sup>.ha), são bem menores do que o observado há pouco mais de uma década em outros sistemas, como o do arroio Canapé, para a mesma cultura – o arroz. Da mesma forma, são maiores do que os indicados pela pesquisa agrícola,

uma vez que refletem as perdas na condução, distribuição e do manejo da irrigação dentro dos quadros.

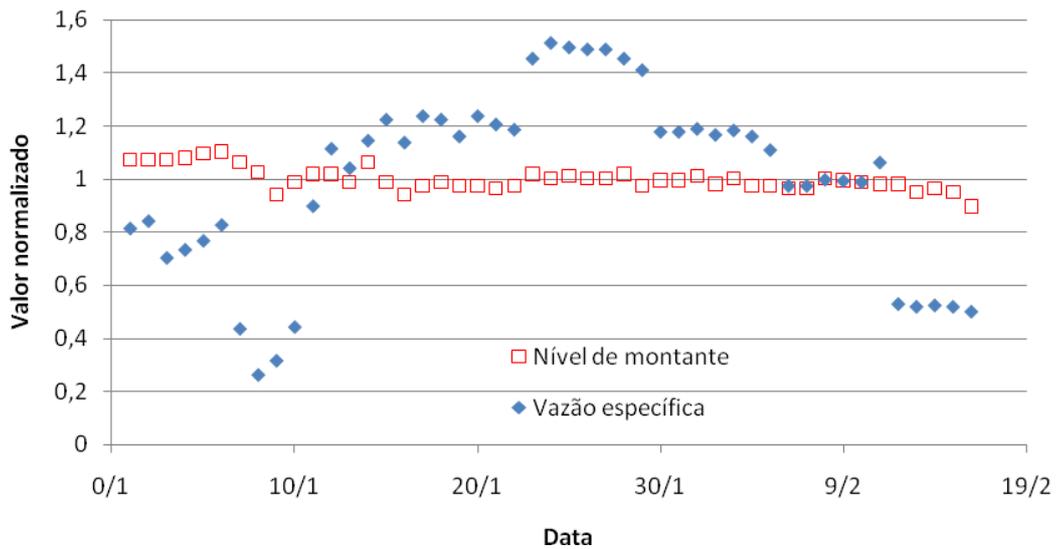


Figura 47 – Valores normalizados para vazão específica e nível a montante no bueiro 6 do canal C1

Comparando-se com o valor definido pela AGÊNCIA (2009) para a bacia do rio Quaraí (10.273,2 m<sup>3</sup>.ha.safra) observa-se que os valores calculados são maiores do que o critério de outorga estabelecido pela necessidade hídrica da cultura e uma eficiência global de 60%, mas dentro de uma mesma ordem de grandeza. Em termos médios, a diferença entre eles é de 7,6%.

Os valores encontrados concordam com os de Cauduro (apud Righes, 2000) e, por outro lado, muito superiores aos de Machado et alli (2006), que consideram o consumo em uma área experimental de pequenas dimensões.

Considerando-se uma média entre os extremos dos consumos calculados e o valor citado por Machado et alli (2006) para o sistema convencional, encontra-se uma eficiência

referencial para o Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro igual a 51,95%, ou seja, o consumo real é praticamente o dobro do registrado pela pesquisa.

Evidentemente, este valor é apenas uma ordem de grandeza, uma vez que as condições climáticas são distintas, bem como deveria ser realizada a ponderação dos sistemas de cultivo para a safra analisada no sistema do arroio Chasqueiro. Contudo, o valor reforça o distanciamento entre os valores definidos para a lavoura e os referentes ao manejo da irrigação em sistemas coletivos, sendo que as perdas nestes continuam sendo muito importantes para a definição dos valores de retirada de água dos corpos hídricos e de reservatórios.

A vazão específica média registrada foi igual a 1,182 l/s.ha, considerando-se a média da série dos valores calculados. Este valor é inferior aos apontados pela maior parte das diferentes referências citadas, mas próximo aos valores definidos pelos autores que encontraram o valor mínimo (Marcolin e Macedo, 2003) para o plantio convencional, que é de 1,06 l/s.ha. Os valores máximos de vazão específica encontrados são, no entanto, coerentes com a maior parte dos valores referenciais. No caso do Chasqueiro, valores de vazão específica de 1,8 l/s.ha poderiam ser adotados como critérios de dimensionamento dos canais, mas não como critérios de gestão na maior parte do tempo, pois valores semelhantes são observados apenas nos picos de demanda da lavoura.

### **6.3. Sobre o medidor IPH**

A constatação de que são poucas as alternativas existentes para medição de vazão em canais não revestidos e, dentre estes, os de baixa declividade, motivou a busca por uma alternativa tecnologicamente simples e de baixo custo, em comparação com alternativas de estruturas usualmente implantadas em canais.

A primeira opção foi pelos vertedores de parede espessa, considerando as experiências de Rijo no Vale do Sorraia e a proposta do WinFlume. Estas estruturas demonstraram-se limitadas para o uso no Sistema de Irrigação do Arroio Chasqueiro, especialmente nos trechos nos quais havia influência de comportas localizadas a jusante. Nestes casos, a precisão de medição era muito baixa, ou havia a necessidade de elevação do vertedor, causando transbordamento a montante ou a necessidade de elevação das bermas do canal, situação que seria inviável na prática.

Uma estrutura ideal deveria ter uma gama de medição mais ampla do que vertedores de parede espessa situados junto ao fundo do canal, uma facilidade construtiva e baixo custo de implantação.

Isso levou a opção do estudo da utilização de tubulações plásticas ou de concreto armado como vertedores, pois são materiais facilmente encontrados, apresentam dimensões razoavelmente uniformes entre as peças e têm baixo custo de aquisição.

A definição da localização dos tubos iniciou por um estudo do seu comportamento apoiado diretamente no solo, como os vertedores de parede espessa. Os inconvenientes deste arranjo seriam os relacionados com a manutenção do canal, uma vez que impediriam parcialmente a livre circulação da água e seriam elementos dificultadores do trabalho mecanizado.

Como pontos favoráveis das tubulações estão o baixo peso relativo, a possibilidade de serem implantados sem a necessidade de técnicos especializados, o pequeno tempo necessário para a sua construção e o custo acessível.

Seguindo o disposto por Escribá Bonafé (1988), foram determinadas as equações para a definição da vazão limite para manter o escoamento como vertedor, evitando-se a situação do obstáculo de fundo de canal, dada a menor alteração nas alturas de montante e jusante e uma maior influência da precisão de leitura das escalas no resultado final.

Inicialmente, seleciona-se o diâmetro do cano a ser utilizado. Definem-se, a partir disto, os valores da base do canal, da declividade de fundo, da rugosidade das paredes e da inclinação dos taludes, elementos estes de fácil obtenção. Estabelecendo-se valores de vazão aleatórios, são calculadas as séries de valores para a profundidade normal, por meio da equação de Manning, e a profundidade crítica. A profundidade normal do escoamento passa a ser considerada como a profundidade de jusante da estrutura proposta. As séries de dados permitem estabelecer duas equações, que relacionam profundidade normal em relação à vazão e profundidade crítica somada com o diâmetro do cano com relação à vazão. O cruzamento das duas curvas indica o valor máximo de vazão que pode ser medido na condição de vertedor trabalhando livremente, que é a situação recomendada. Como os valores de vazão são limitados em um sistema de canais já existente ou são dados de

projeto para a concepção de um sistema de canais, verifica-se que todas as informações necessárias estão disponíveis ou são facilmente arbitradas de forma coerente.

A figura 48 a seguir mostra o comportamento de um tubo de diâmetro de 0,15 m colocado no fundo de um canal de base 0,5 m, inclinação 0,002 m/m, coeficiente de rugosidade 0,012 e paredes verticais, existente no IPH. Para esta situação, a vazão máxima a ser medida é igual a 0,275 m<sup>3</sup>/s.

Para lâminas afogadas, Bauzil (4.100) apresenta uma curva de correção do coeficiente C para C', de acordo com um coeficiente de submersão, definida como a relação entre a altura h, obtida da diferença entre o nível de jusante e a crista do vertedor, e a carga H a montante. Esta curva foi transformada em uma tabela, permitindo o acesso da planilha de cálculo para diferentes valores do coeficiente de submersão.

Esta correção do coeficiente de descarga proposto por Bauzil foi lançada sobre o coeficiente proposto por Fawer (4.103), possibilitando a obtenção de um novo coeficiente que somasse as características do perfil circular com a situação de afogamento. Sendo conhecido o coeficiente de descarga e os valores das alturas a montante e a jusante, a vazão sobre o vertedor pode ser definida.

Para testar a aplicação das equações apresentadas, foi utilizado o canal experimental do IPH. O primeiro passo foi definir a rugosidade do canal, a partir da realização de escoamentos com vazão conhecida e medição da profundidade em quatro pontos do trecho a ser ensaiado. A partir deste valor, pode-se definir a profundidade normal do escoamento para determinada vazão. Para valores conhecidos de vazão, foram estimados os valores de altura de carga que deveriam ser observados nas medidas no laboratório, considerando as situações de vertedor livre e afogado. A figura 49 a seguir apresenta os valores encontrados e sua relação com os valores medidos, com uma reta a 45° que marca a coincidência entre valores medidos e estimados. Os resultados apresentaram valores estimados muito próximos dos medidos, com exceção dos estimados para as vazões menores (Q<55,0 l/s). Desprezando-se estes valores, o erro médio obtido foi igual a 2,54%, indicando a necessidade de limitação para o uso do tubo apoiado para valores de vazão superiores a um limite a ser definido.

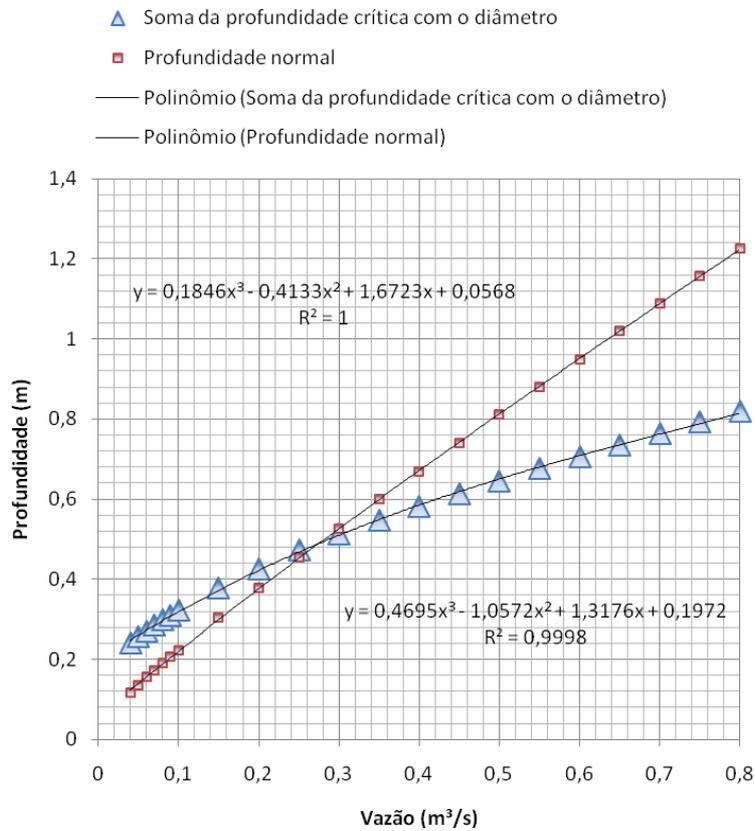


Figura 48 – Limite de utilização da tubulação apoiada no fundo do canal como um vertedor livre, segundo Bonafé (1988).

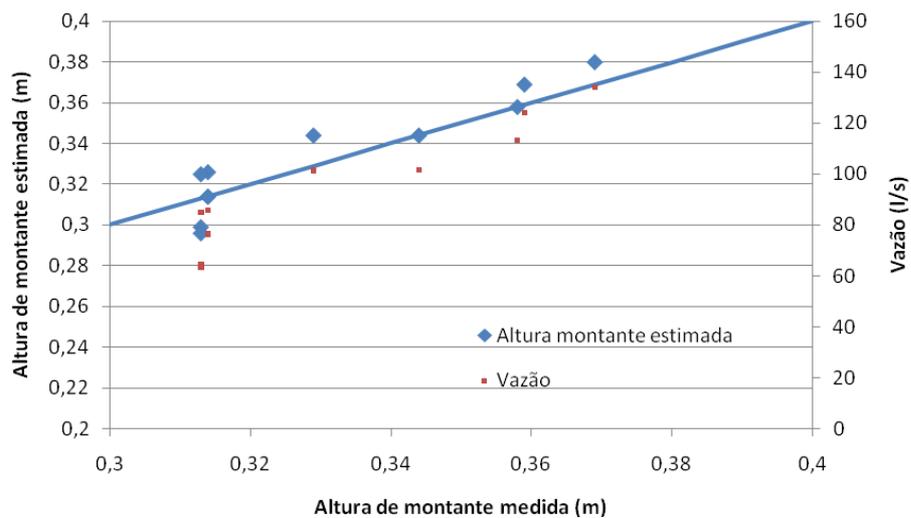


Figura 49 – Relação entre alturas de montante da tubulação estimada e medida

Os ensaios realizados confirmam que vertedores de perfil circular, colocados no fundo dos canais, apresentaram uma capacidade de escoar vazões maiores do que outros tipos de vertedores, como o de parede delgada e o de parede espessa. O coeficiente médio de vazão destes vertedores, segundo os ensaios realizados, é igual a 0,5407, contra 0,41 para vertedores de parede delgada (Francis) e 0,35 para vertedores de parede espessa (Lesbros). Assim, para as mesmas condições de altura e largura do vertedor, a vazão observada seria maior.

Uma série de observações foi realizada em um canal experimental em vidro, no laboratório de engenharia rural da Universidade de Évora. Considerada estabilizada a vazão, os níveis de montante, crista e jusante do tubo e a montante e crista do vertedor de parede espessa foram medidos com o uso de uma ponta linimétrica. Estes dois últimos valores foram utilizados para definir a vazão do sistema. Os primeiros três valores definiram o comportamento do sistema, complementados pelos dados de diâmetro do tubo e pela posição da crista. Foram testados três diâmetros distintos de tubos de aço, que puderam ser posicionados em diferentes alturas com o uso de uma coluna regulável, que se apoiava em um dos dois orifícios de sustentação dos acessórios do canal de vidro.

Lencastre apresenta o valor de 0,776 para orifício de bordo superior arredondado e contração suprimida em baixo e dos lados, que é a situação projetada. A aplicação deste valor, corrigido com o valor de Weisbach, sobre os dados experimentais, demonstrou-se muito coerente para a realidade ensaiada, embora tenha resultado em valores estimativos superiores aos medidos no laboratório.

Para seleccionar a equação a ser utilizada, foi adotado o critério de Cunge e Woolhaiser, mas adotaram-se correções para as alturas de carga. No caso de  $a > 2/3 H$ , a vazão foi determinada por:

$$Q = 0,6 * 0,385 * (2g)^{0,5} * (H - \frac{a}{2})^{1,5}$$

Quando  $a < 2/3 H$ , a vazão foi calculada por

$$Q = mS\sqrt{2 * 9,8066 * H}$$

Sendo  $m = 0,61 * 1,1$ , onde 0,61 é o coeficiente geral para orifícios simples e 1,1 é o acréscimo do valor do coeficiente pelo perfil arredondado. Os valores observados em laboratório mostram erros médios de 2,58%, comparando a vazão estimada e a vazão real.

Por fim, foi ensaiada a solução que conjuga o vertedor e o orifício, buscando identificar uma forma de prever a vazão que passa por esta estrutura a partir da determinação das alturas de montante e jusante e do conhecimento das informações relacionadas com o tubo. Esta previsão é dificultada por uma situação de indefinição de qual é a parte do escoamento que passa pelo orifício e qual a que passa por sobre o vertedor, uma vez que ambas dependem do valor da altura de carga a montante e do afogamento causado pelo nível de jusante.

O primeiro critério examinado para separação do escoamento é o proposto por Akerman e Martí (2005), no qual as energias de velocidade nas duas situações devem ser as

mesmas, ou seja,  $\frac{V_{orifício}^2}{2g} = \frac{V_{vertedor}^2}{2g}$ .

O escoamento pelo vertedor só ocorre quando a altura a montante supera a posição da crista, sendo influenciado ou não pelo nível de jusante. Conhecidos estes valores, portanto, pode-se calcular a vazão que passa pelo vertedor, a velocidade do escoamento e, portanto, a energia de velocidade. Este valor é lançado na equação do orifício, obtendo-se a vazão correspondente. A soma das duas vazões deve corresponder à vazão circulante pelo canal.

A validação da suposição de igualdade das energias de velocidade foi realizada com o uso da sonda de Prandtl. A sonda foi inserida de montante para jusante, de forma a não interferir ainda mais no escoamento.

Observam-se valores semelhantes das velocidades no eixo do orifício e na crista do vertedor, mas nesta já no trecho de queda. Utilizou-se como referencial colocar a sonda sobre a crista e avançar na lâmina vertente até que houvesse a perturbação do escoamento pela presença da sonda, sendo este o limite que não devia ser ultrapassado, conforme a figura 50.

A medição de velocidade nos pontos indicados mostrou valores com uma diferença média de 1,0 mm entre as taquicargas do vertedor e do orifício nas seções consideradas, indicando que a hipótese de igualdade de velocidades teria alguma validade. Mas a localização dos pontos de medição gerou dúvidas sobre a lógica de sua utilização, uma vez que valores idênticos de velocidade poderiam ser encontrados, sem uma relação específica com uma altura crítica ou uma seção de estrangulamento. Considere-se, ainda, o fator complicador da rápida alteração da parede do tubo, a existência de áreas de depressão e seu efeito sobre a velocidade. Além disto, há que considerar a alteração da velocidade a jusante do orifício pelo efeito do mergulho do jato proveniente do vertedor.

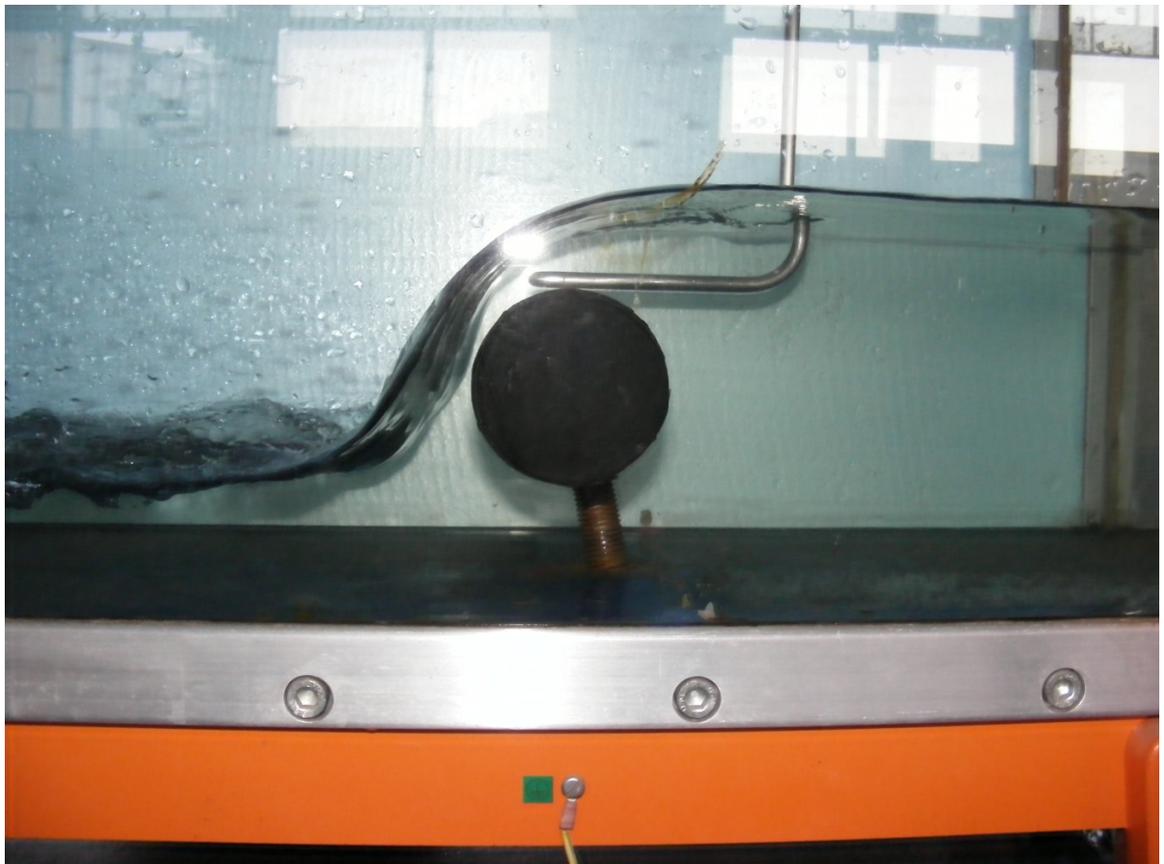


Figura 50 – Medição de velocidade com a sonda de Prandtl

A figura 51 mostra a relação entre os valores medidos da vazão circulante e os estimados pela proposta de Akerman e Martin. Observa-se que há uma tendência de ajuste em uma parcela significativa de experimentos, mas também há valores discordantes que elevam o erro médio obtido, resultando em uma baixa correlação na linha de tendência.

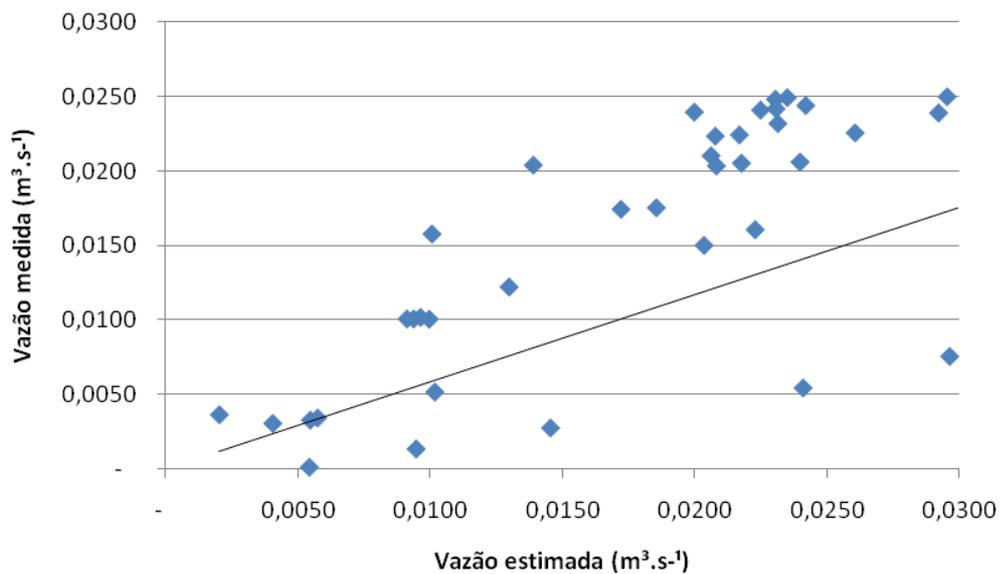


Figura 51 – Relação entre vazão estimada e vazão medida no conjunto orifício e vertedor com a aplicação da proposta de Akerman e Martin

Em termos de previsão da vazão, do diâmetro a ser utilizado e da posição do tubo em relação a canal, foram realizadas vários ensaios com diâmetros, posições e vazões distintas. Foram observadas situações nas quais o uso de tubos como medidores de vazão apresentaram algumas dificuldades:

- Para velocidades baixas e posição do tubo elevada em relação à profundidade normal, o escoamento ocorrerá como orifício. Dependendo do grau de afogamento, não há uma contração significativa do jato de água e há uma velocidade de escoamento baixa, que gera uma perda de carga pequena. Diferenças pequenas entre os

níveis de montante e jusante são difíceis de ser percebidas a olho nu no canal. Em situações de campo, com o uso de réguas linimétricas, estas diferenças seriam de difícil determinação, já que o erro esperado de leitura é superior a 1 mm, o que poderia gerar erros importantes na avaliação da vazão para essas pequenas diferenças;

- Para alturas a montante elevadas e para certas situações de seção do orifício, observa-se a formação de vórtices. Estes vórtices resultam em perda de carga localizada junto ao tubo, a montante deste. Essa perda de carga, por sua vez, implica em elevação do nível a montante na seção de medição, sendo que esta elevação de altura pode gerar erros na estimativa do escoamento.

- Para situações em que o escoamento atinge e ultrapassa a profundidade crítica, há a formação de ressalto hidráulico a jusante. A simples presença do ressalto interfere na medição da profundidade de jusante ou exige a transferência desta para uma seção mais distante do tubo; por outro lado, a presença do ressalto garante a passagem pelo regime crítico, conferindo mais precisão à medição de vazão. Para estas situações, foi adotado como nível de jusante o nível da água a montante do vertedor de parede espessa, localizado no final do canal.

Nas duas primeiras situações o erro observado entre a vazão medida e a vazão calculada ultrapassou a margem de 10%, razão pela qual foi abandonada a proposta de Akerman e Martin (2005).

A partir disto, analisou-se a possibilidade do uso das propostas de Ferro (2000) e de Negm (2002 a, 2002 b).

O uso das relações propostas por Ferro levou a uma reconsideração dos coeficientes  $a$  e  $n$ , que apresentaram melhor resultado com os seus valores básicos, isto é,  $a=2$  e  $n=3$ , do que os sugeridos pelos ensaios do próprio Ferro.

Os resultados obtidos no Laboratório do IPH mostram um erro médio de previsão de vazão igual a 4,52% com o uso da solução proposta por Ferro. Este valor é próximo ao proposto pelo WinFlume e da consideração do canal funcionando em regime permanente e uniforme. Pela figura 52, observa-se que há uma leve tendência de subestimação dos valores de vazão.

Outra série de experimentos foi realizada no canal experimental do Núcleo de Hidráulica e Controlo de Canais, da Universidade de Évora, mas em canais de seção trapezoidal. No trecho inferior, de maior interesse, as primeiras medições não foram satisfatórias, pela oscilação do nível a montante, causado por perturbações originadas pela passagem da água por uma *over shot gate* e pela influência de uma comporta AMIL localizada a jusante. Fez-se necessário a retirada da comporta e a tranquilização do fluxo a montante.

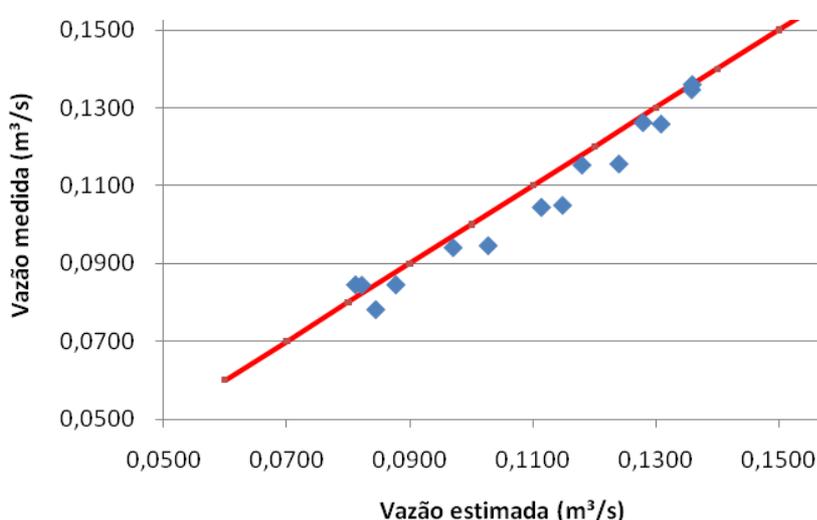


Figura 52 – Relação entre valores de vazão (m³/s) medidos e estimados com o uso da equação de Ferro.

Para esta situação, a proposta de Ferro não demonstrou-se satisfatória, com erros muito elevados, entre 65% e 122%. Observa-se que os valores da velocidade na seção de montante são muito baixos, próximos ao limite de influência de 0,2 m/s e que a influência do nível de jusante é muito mais expressiva. Conclui-se que a proposta de Ferro é adequada para as situações de laboratório, mas não para canais de irrigação.

Por tanto, foi adotada a metodologia de Negm (2002 a,b), com o coeficiente de vazão do vertedor definido por Fawer e o do orifício variando entre 0,61 e 0,95, de acordo

com a diferença entre os níveis de montante e jusante. Este coeficiente foi ainda corrigido pelos valores obtidos na revisão bibliográfica, sendo multiplicado por 0,986 para compensar a submersão por jusante e por 1,1 por conta do bordo arredondado. A vazão obtida pelo somatório da vazão do vertedor e do orifício foi corrigida pelo fator F, que foi calculado em função da relação entre o nível de montante sobre o nível de jusante. Utilizou-se uma única faixa de critérios para a determinação do valor de F, aplicada tanto para o canal superior, de paredes mais verticais, e para o canal de retorno, com paredes mais abatidas.

No canal denominado de superior, com inclinação das paredes 1V:0,15H, o valor de F variou entre 0,85 e 1,0. Os erros observados para a estimativa da vazão, no entanto, são mais elevados do que o desejado, com valores de erro superiores a 20% e um valor médio de 11,38%.

A Tabela 26 a seguir apresenta os valores obtidos em 22 ensaios.

Com o valor de F proposto pelo autor, o erro médio cai para 10,58%, mas o erro máximo atinge 29,44%. Neste canal, as velocidades situaram-se próximas de 0,7 m/s, enquanto que as perdas de carga, medidas pela relação entre a energia medida a montante do tubo e a prevista para um movimento permanente e uniforme, têm um valor médio de 23,69%.

Para o canal de retorno, o valor de F variou entre 0,85 e 1,55, com média igual a 1,08, próximo da proposta do autor, que é de 1,037. Com esta sistemática, o erro médio observado entre valores observados e medidos é igual a 2,55%, para a série de erros absolutos, com um valor máximo de 4,80%. Se adotado um único valor de F (1,08), a margem de erro sobre para 13,19%, com um valor máximo de 30,83%. Com o valor básico proposto pelo autor ( $F=1,037$ , para escoamento submerso), o erro médio é igual a 12,05%, mas com um erro máximo de 33,35%.

Os valores obtidos são apresentados na Tabela 27 a seguir.

Tabela 26 – Resultados obtidos com o uso do medidor IPH no trecho superior do canal do NUHCC de acordo com a equação de Negm

Relação H/hjus	Q vertedor m <sup>3</sup> /s	Q orifício m <sup>3</sup> /s	F	Q total corrigida m <sup>3</sup> /s	Q real m <sup>3</sup> /s	Erro	Erro absoluto
1,0658	-	0,0445	0,95	0,0423	0,0395	7,14%	7,14%
1,0802	-	0,0492	0,85	0,0418	0,0394	6,10%	6,10%
1,0711	-	0,0482	0,85	0,0410	0,0449	-8,78%	8,78%
1,0684	-	0,0473	0,95	0,0449	0,0442	1,61%	1,61%
1,0867	-	0,0546	0,85	0,0464	0,0494	-6,11%	6,11%
1,0741	-	0,0504	0,85	0,0429	0,0495	-13,39%	13,39%
1,0959	-	0,0588	0,85	0,0500	0,0542	-7,79%	7,79%
1,0959	-	0,0588	0,85	0,0500	0,0545	-8,29%	8,29%
1,0990	-	0,0614	0,85	0,0522	0,0600	-12,96%	12,96%
1,1035	-	0,0628	0,85	0,0534	0,0602	-11,29%	11,29%
1,1002	-	0,0632	0,85	0,0537	0,0642	-16,34%	16,34%
1,0831	-	0,0574	0,85	0,0488	0,0639	-23,62%	23,62%
1,0890	-	0,0576	0,85	0,0490	0,0569	-13,93%	13,93%
1,2600	0,0235	0,0442	1,00	0,0678	0,0545	24,34%	24,34%
1,2476	0,0213	0,0432	1,00	0,0645	0,0545	18,26%	18,26%
1,2399	0,0283	0,0433	1,00	0,0716	0,0590	21,28%	21,28%
1,2375	0,0249	0,0428	1,00	0,0677	0,0574	17,96%	17,96%
1,1919	0,0087	0,0376	1,00	0,0462	0,0500	-7,53%	7,53%
1,1647	0,0031	0,0437	1,00	0,0468	0,0474	-1,25%	1,25%
1,1566	0,0002	0,0418	1,00	0,0420	0,0434	-3,32%	3,32%
1,1164	-	0,0353	1,00	0,0353	0,0400	-11,72%	11,72%
1,1128	-	0,0420	1,00	0,0420	0,0380	10,58%	10,58%
Média			0,92	0,0500	0,0511	-1,78%	11,53%

Observou-se que no canal de retorno, com características mais próximas da realidade de campo, a passagem do escoamento por cima e por baixo do tubo se faz de forma tranquila, com a formação de uma superfície ondulada a jusante e pequena elevação a montante, que é a situação desejada, pois:

- A velocidade a jusante não é aumentada de forma a propiciar um aumento dos processos erosivos, embora o revestimento da seção de controle seja recomendável para garantir a estabilidade do controle;

- A pequena elevação a montante corresponde à manutenção parcial do bordo livre projetado;
- A pequena ondulação a jusante não interfere tanto na medição como os ressaltos hidráulicos formados no laboratório.
- A perda de carga relativa média é igual a 12,27% da energia na seção de montante, para velocidade média igual a 0,205 m/s.

Tabela 27 – Ajuste do fator de F da equação de Negm para o canal inferior do NUHCC

Relação H/hjus	Q vertedor	Q orifício	F	Q total corrigida	Q real	Erro	Erro absoluto
1,014082	0,015338	0,012556	1,55	0,043236	0,0434	-0,38%	0,38%
1,022013	0,019339	0,015791	1,3	0,04567	0,0474	-3,65%	3,65%
1,027912	0,021509	0,017817	1,3	0,051124	0,05	2,25%	2,25%
1,031472	0,027696	0,019121	1,3	0,060862	0,059	3,16%	3,16%
1,031578	0,026198	0,019098	1,3	0,058884	0,0574	2,59%	2,59%
1,03256	0,014963	0,018902	1,1	0,037251	0,038	-1,97%	1,97%
1,033435	0,008085	0,018742	1,1	0,029511	0,031	-4,80%	4,80%
1,038555	0,017283	0,020631	1,1	0,041705	0,04	4,26%	4,26%
1,045339	0,027402	0,014685	1,1	0,046296	0,0449	3,11%	3,11%
1,045339	0,027402	0,014685	1,1	0,046296	0,0442	4,74%	4,74%
1,051958	0,024275	0,015568	0,95	0,037851	0,0394	-3,93%	3,93%
1,061928	0,026491	0,013883	0,95	0,038356	0,0395	-2,90%	2,90%
1,069669	0,038878	0,015012	0,95	0,051196	0,0494	3,63%	3,63%
1,069669	0,038878	0,015012	0,95	0,051196	0,0495	3,43%	3,43%
1,094612	0,046191	0,017494	0,85	0,054132	0,0542	-0,13%	0,13%
1,094612	0,046191	0,017494	0,85	0,054132	0,0545	-0,67%	0,67%
1,103351	0,05223	0,018371	0,85	0,06001	0,06	0,02%	0,02%
1,111782	0,038878	0,018652	1	0,05753	0,0569	1,11%	1,11%
1,119655	0,047369	0,015318	1	0,062688	0,0642	-2,36%	2,36%
1,120694	0,044449	0,01531	1	0,059759	0,0602	-0,73%	0,73%
1,129434	0,05038	0,015932	1	0,066312	0,0639	3,77%	3,77%
Valor médio			1,08			0,50%	2,55%

A precisão da estimativa tende a ser maior para as maiores vazões, independente do diâmetro da tubulação utilizada, conforme mostra a figura 53.

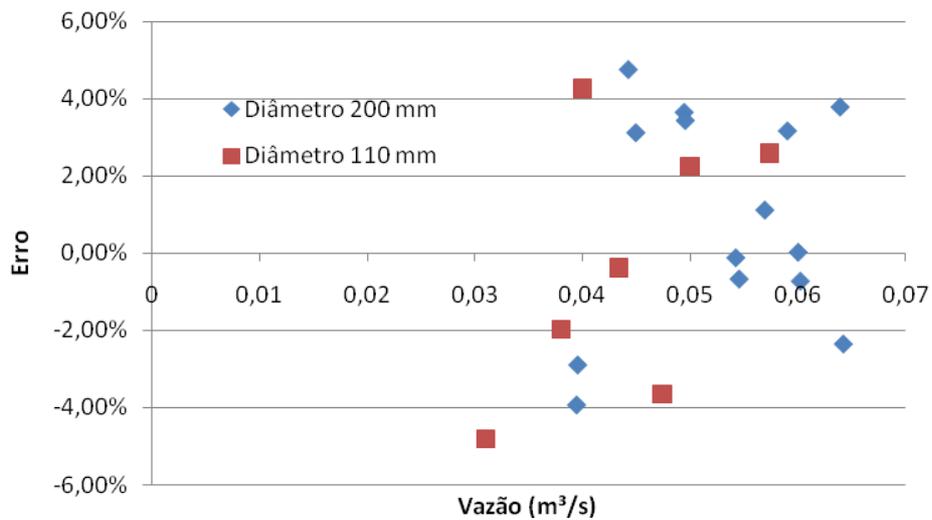


Figura 53 – Comportamento do erro de estimativa em relação à vazão de ensaio

Observa-se que a precisão média das estimativas por Negn pode situar-se acima de 90% com o ajuste do fator F, sendo este o patamar que pode ser obtido com o uso desta instalação. Observa-se, também, que há uma relação entre o valor do fator F e a relação entre as alturas de montante e jusante, o que permite a correção do fator a partir de medidas diretas e fáceis de serem realizadas.

Os valores de erros propostos por Clemmens, no WinFlume, como referenciais máximos, estão entre 2 e 3%, sendo que a partir de uma estimativa de 8% de erro o próprio *software* sugere a busca de uma otimização da solução proposta para o vertedor de parede espessa. Este patamar também se situa na ordem de grandeza para a estimativa da vazão em canais prismáticos, considerando-se o escoamento permanente e uniforme, mas tem a vantagem de não estar baseado na suposição de que este escoamento esteja de fato ocorrendo.

## 7. CONCLUSÃO

Os estudos realizados neste trabalho permitiram avaliar a situação atual da gestão em diferentes sistemas coletivos de irrigação em Portugal e no Rio Grande do Sul, identificando a importância, a viabilidade e os efeitos de uma cobrança pelo uso da água na lavoura de arroz irrigado.

As entrevistas realizadas nas bacias do Gravataí e do Quaraí em conjunto com as obtidas junto a gestores e representantes dos irrigantes nos sistemas coletivos levam à conclusão de que apenas a cobrança de água por volume é efetiva para induzir a mudança de hábitos desejada, enquanto que a cobrança por área gera desperdícios de água, mesmo que não intencionais.

Quanto à aplicação do princípio usuário-pagador, a análise dos resultados obtidos nas entrevistas e a comparação com outras pesquisas desenvolvidas em outros projetos de irrigação mostra que o mesmo tem potencial para reduzir o consumo de água na lavoura de arroz e induzir o abandono de áreas com condições menos favoráveis para a economia de água. A condição de inelasticidade do consumo da água em relação ao seu preço deve ser considerada adequadamente na hora de definir os valores possíveis de tarifa, sob pena de inviabilizar a exploração agrícola irrigada. A tarifação aparece como a alternativa de organizar a demanda a partir de uma ampliação do custo de produção, uma vez que o volume de irrigação independe do preço de venda do produto, mas a decisão de cultivá-lo sim. Os estudos mostram, também, que os Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas podem estimar o custo para a sociedade de uma possível redução de área irrigada na bacia, o que permite avaliar o interesse de adotar um determinado valor pela cobrança de água.

A utilização de bueiros localizados ao longo dos canais permite a estimativa da vazão circulante, o que foi confirmado por determinação direta com o uso de molinete. Esta determinação possibilita o cálculo de consumos médios ao longo de trechos regulados, e, com isto, a verificação de desvios em relação ao consumo esperado.

O uso da estrutura proposta por Amaral e Righes é um avanço importante, sendo uma alternativa para a medição de vazões entregues para parcelas, cujas dimensões serão limitadas pelo diâmetro da tubulação necessária para sua confecção.

A proposta apresentada de determinação de vazão a partir do uso de uma tubulação comercial demonstra uma precisão semelhante à de outras alternativas, como o vertedor de parede espessa, mas necessita de uma estrutura muito mais barata e acessível. O grau de precisão e a facilidade de obtenção dos dados necessários são pontos favoráveis a esta proposta. Por outro lado, há a necessidade de avançar nas definições e generalização dos coeficientes adotados, embora possa ser adotado o fator geral de Negm com uma margem de erro conhecida (10,58%).

Ainda sobre o medidor proposto, observa-se que seu comportamento é mais preciso para valores mais elevados de vazão, quando também são observadas as menores perdas de carga relativas.

Para manter-se a precisão dentro de valores aceitáveis, é necessário considerar a variação do coeficiente de vazão do orifício, que diminui na medida em que a altura da água a montante distancia-se da altura da água a jusante, e do fator de F para a expressão de Negm, que variou entre 0,85 e 1,55, sendo este último valor observado quando a altura de jusante era muito próxima da altura de montante.

Especificamente quanto aos perímetros irrigados, observa-se que, no Rio Grande do Sul, as técnicas e os métodos de distribuição e controle são completamente defasados. A adoção de um modelo composto por canais de distribuição controlados por comportas verticais operadas manualmente para manter um nível constante a montante, próximo do proposto pelo Bureau of Reclamation há cem anos, gera uma dificuldade operacional que não é devidamente quantificada ou qualificada pelos técnicos responsáveis. A lógica de manutenção de um nível constante a montante de uma estrutura de derivação e controle não guarda uma relação unívoca com a vazão efluente. A gestão concomitante de um conjunto de estruturas em um mesmo canal é de eficiência discutível, dados os tempos de resposta observados em canais de grande comprimento e pequena declividade. A alteração da lógica de controle em certas fases da irrigação, utilizando informações de jusante para operar as comportas a montante, leva a variações do nível controlado e, de forma mais acentuada, da vazão específica.

Por outro lado, as possibilidades de recepção dos excedentes hídricos no sistema de canais ou na lavoura e da redução da lâmina de inundação na lavoura por um tempo

indefinido, mascara a baixa eficiência de condução e distribuição nestes sistemas, tomando como base o projeto Chasqueiro. A análise da diferença das vazões específicas e dos consumos unitários em conjunto com o gestor do sistema revelou uma desigualdade entre irrigantes de diferentes setores do sistema de canais que não pode ser explicada pelas diferenças de solos, de métodos de cultivos ou plano de exploração agrícola, mas sim pelo processo de distribuição de água.

A comparação entre os projetos portugueses e o projeto Chasqueiro mostra que a concepção deste último só tem vantagens em relação ao Mondego, que é reconhecidamente deficitário quanto à gestão da irrigação. Hidraulicamente, o Chasqueiro é mais atrasado que o projeto do Vale do Sado, apesar de ser 30 anos mais recente.

Voltando a analisar o consumo de água e o princípio usuário-pagador aplicado sobre a área irrigada, observa-se que determinações como a adotada pela Agência Nacional de Águas na bacia do rio Quaraí, que enfrenta um histórico de deficiência hídrica em alguns trechos do rio principal, não levam à economia de água e podem gerar uma situação contraditória, de aumento da área irrigada pela concessão de outorga com base na suposição de um consumo menor do que o observado em condições de campo. Assim, se não houver o aumento da eficiência na condução, distribuição e aplicação da água na lavoura de arroz, a diferença entre a necessidade hídrica da cultura e o volume bruto necessário na captação tende a manter-se ou, na melhor das hipóteses, sofrer uma redução gradual mas de pequena intensidade.

A questão dos subsídios agrícolas na Comunidade Económica Europeia mostra-se como forte delimitadora dos valores possíveis de serem cobrados pelo uso da água. Na verdade, o subsídio inverte, e muito, a lógica de decisão dos irrigantes sobre muitos fatores, criando uma situação artificial de análise que não pode ser considerada como parâmetro. A aplicação de métodos como a disposição a pagar ou o princípio elasticidade-preço, nestes casos, geram valores e comportamentos inconsistentes, o que também foi observado no caso iraniano (Esmaili e Vazirzadeh, 2009).

Por outro lado e com outro enfoque, a pesquisa agrícola aponta, cada vez mais, para a redução da necessidade hídrica do arroz ou do consumo teórico, em parcelas experimentais ou sob forte controle das variáveis envolvidas. Desta forma, seria evidente

que o consumo da água e os conflitos pelo seu uso estariam se reduzindo de forma significativa, o que não corresponde à realidade da maior parte dos cursos d'água das bacias brasileiras onde existe agricultura irrigada em superfícies importantes.

Para o caso brasileiro e especificamente do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, observa-se que o exemplo francês pode ser analisado como referencial para a implantação da cobrança pelo uso da água. Como na França (BRASIL, 2001), o setor agrícola deve ser resistente à cobrança e de difícil controle, o que deve levar à adoção de duas práticas: uma tarifa reduzida, como forma de diminuir as resistências e o impacto sobre a produção, e uma cobrança facilitada, com o uso da área como parâmetro de consumo.

No entanto, observa-se, ao contrário da França, situações localizadas de grande escassez sazonal de água, motivadas pela irrigação. Nesta condição, parâmetros que não levem à economia de água devem ser preteridos.

A solução que se apresenta para o Rio Grande do Sul, onde a água ainda não é cobrada, mesmo após 15 anos de vigência da Lei Estadual sobre a gestão dos recursos hídricos, é antecipar a posição dos agricultores franceses, que encontraram nos recursos obtidos pelo pagamento da água na bacia uma fonte de subsídios.

Especificamente quanto aos projetos coletivos públicos vinculados à irrigação de arroz, propõe-se que a cobrança pelo uso da água seja investida em melhorias nas estruturas de condução, distribuição e controle da água de irrigação. Estes projetos têm a facilidade de permitir a obtenção de parâmetros em um grande número de propriedades de forma concentrada, gerando séries de dados de maior confiabilidade e uniformidade que poderiam ser utilizados como controle dos dados obtidos em lavouras isoladas. Também estão situados em bacias pequenas (arroio Duro, arroio Chasqueiro, arroio Capané, arroio das Canas), com exceção do sistema VAC 04 (rio Vacacaí), e de menor histórico de conflito pela falta da água.

Por fim, quanto ao valor da água para a irrigação do arroz, é urgente que os estudos necessários sejam efetivados em todas as bacias do estado, como forma de definir valores possíveis para a cobrança pelo uso da água, sem criar distorções artificiais e desnecessárias de custo de produção entre as diferentes regiões produtoras.

Retornando às questões iniciais:

- Quanto cobrar?

O patamar de cobrança deve estar entre 0,5% do custo de produção (cerca de US\$ 5 ou 0,5 saco/hectare) e 2,7 sacos de arroz por hectare (cerca de US\$ 28, na época da pesquisa de campo), sendo estes valores obtidos nas pesquisas realizadas e na revisão bibliográfica e referendados em diferentes bacias. Obviamente, valores mais baixos terão menores efeitos na economia, na resistência ao pagamento e na economia de água. Para obter-se um efeito de economia de água mais pronunciado, deve ser adotada uma base de consumo tecnicamente possível, que deve ser utilizada como fator de referência para uma cobrança mínima. A partir deste ponto, quando maior o consumo maior deve ser a tarifa, mas não em escala linear, podendo ser adotado um escalonamento entre o valor mínimo e um valor máximo admissível de acordo com as condições de demanda e oferta da bacia. Atualmente, poderia ser proposta a divisão das tarifas nas faixas até 10.000 m<sup>-3</sup>.ha; entre 10.000 e 12.000 m<sup>-3</sup>.ha; entre 12.001 e 14.000 m<sup>3</sup>/ha; entre 14.001 e 16.000 m<sup>-3</sup>.ha; e acima de 16.001 m<sup>-3</sup>.ha. Irrigantes que utilizassem menos do que 10.000 m<sup>-3</sup>.ha poderiam receber benefícios na forma de descontos. Os valores propostos são mais elevados que os indicados nas pesquisas realizadas, pois incluem as perdas na condução e na distribuição. Após as primeiras medidas de consumo efetivo, estas faixas devem ser alteradas.

Ainda deve ser melhor discutida a cobrança da água armazenada em reservatórios privados, mas aponta-se a necessidade de manter-se a função da tarifa de sinalizar para o produtor o valor econômico da água. A possibilidade da adoção do princípio beneficiário – pagador, com pagamento ao irrigante que construa e opere um reservatório dentro do *interesse da bacia*, com a geração de excedentes de água de qualidade adequada a outros usos, como a recreação ou o abastecimento de cidades, pode ser adotada em situações específicas. Verificou-se que a possibilidade de recuperação de água dentro da lavoura ou da propriedade leva a uma redução da parcela de água que retorna à rede de drenagem natural, reduzindo o efeito benéfico da existência do reservatório para a bacia como um todo. Por outro lado, os proprietários de reservatórios podem ser incentivados a bombear água dos cursos d'água no período de inverno com isenção de tarifa, por exemplo, para reduzir a demanda no período da irrigação.

Como avaliação das metodologias utilizadas, verifica-se que o Método de Valoração Contingente pode ser utilizado para a definição de valores a serem cobrados, desde que com as complementações analíticas necessárias.

- Como medir a unidade de cobrança?

A cobrança deve ser por volume, pois a cobrança por área não terá o efeito desejado na otimização necessária do uso da água. A implantação da cobrança por área irrigada, como ocorre com o *mercado de água*, levará ao desperdício. A fixação de valores referenciais de consumo por área, com o uso de dados climatológicos, sem considerar as elevadas perdas registradas em canais não revestidos e na própria lavoura de arroz em condições distintas das observadas em canteiros de pesquisa, resultará, de fato, na outorga de volumes mais elevados. Em algumas bacias em situação mais crítica entre oferta e demanda, não deve ser descartada a possibilidade de se ultrapassar a oferta natural e comprometer a situação do curso d'água, com prejuízo aos irrigantes, à sociedade e ao meio ambiente. Esta situação seria próxima do que é atualmente observada, com dois diferenciais: haveria a cobrança por um volume de água indisponível e a seria gerada uma deficiência hídrica por irrigação de uma área previamente autorizada pelo órgão competente.

No entanto, é necessária uma fase de transição entre a cobrança por área, que é a alternativa atualmente possível, e a medição do volume consumido. A proposta é que uma cobrança inicial que viabilize a implantação das estruturas necessárias para determinação do volume ou contratação de serviços especializados para isso. Após isto, pode-se adotar a tarifa composta por dois elementos, um fixo e outro por volume adicional. A parcela fixa poderia ser referida a um volume unitário básico, como o de 10.000 m<sup>3</sup>.ha.safra proposto, enquanto que a de volume adicional significaria um aumento significativo do custo da água para o irrigante menos eficiente. O medidor proposto pode ser utilizado em canais abertos, com custo acessível, e com uma precisão de mesma ordem de grandeza do que outras alternativas existentes, tendo a vantagem de não dificultar a manutenção dos canais.

- Qual o efeito dessa cobrança na economia regional?

Seguindo a experiência da bacia do rio Quaraí, com a aplicação do Método dos Efeitos (Chervell e Le Gall, 1989), observa-se que uma redução significativa de área irrigada, motivada pela aplicação de uma tarifa muito maior do que a disposição a pagar, teria impactos importantes na economia de algumas bacias com perfil predominantemente agrícola e fortemente baseado na cultura do arroz. Por isso, a fixação de valores para a tarifa da água para irrigação deve considerar (i) a inelasticidade preço-demanda e (ii) a disposição a pagar. Cada Comitê deve realizar as pesquisas necessárias (ou demandar ou viabilizar a sua execução) para a definição dos valores possíveis de cobrança, mas o Conselho Estadual de Recursos Hídricos deve estabelecer um valor mínimo, diferente de zero, para que a isenção da tarifa de água não seja utilizada como fator de incentivo econômico à atividade produtiva.

- Qual é o efeito da cobrança no comportamento do irrigante?

O efeito sobre o irrigante quanto à economia de água não deve ser observado na cobrança por área, como relatado em outras experiências. Na cobrança por volume, o efeito sobre o irrigante dependerá da política tarifária a ser implantada. Também espera-se que os irrigantes com mais tempo de experiência na irrigação tenham maior dificuldade em aceitar a cobrança e em reduzir o consumo de água, assim como produtores de menor escolaridade sejam mais resistentes em pagar pela água. Espera-se o abandono da atividade agrícola irrigada pelos produtores menos eficientes em relação ao uso da água. Esta redução de área terá pequeno impacto na produção de arroz, pois poucos produtores devem estar nesta situação, tendo em vista o aumento da especialização da produção de arroz nos últimos anos e a extensa cobertura de assistência técnica.

Com os resultados diretos obtidos, a hipótese básica, respeitando-se a condição da cobrança por volume e a adoção de valores compatíveis com a intenção de pagamento da maior parte dos produtores, é validada, devendo ser implantada nos sistemas de gestão de recursos hídricos. O resultado desta combinação de propostas levará a uma economia do uso da água e a uma arrecadação otimizada dos recursos necessários para a implantação das intervenções estruturais e não estruturais definidas nos planos de bacia. Por outro lado, a

implantação desta hipótese deverá retirar do mercado produtor os agricultores menos eficientes. O impacto desta retirada de produtores deve ser analisado em cada bacia, podendo- adotar o Método dos Efeitos para isso.

No entanto, a hipótese negativa, de manutenção da cobrança por área, não é totalmente excludente com a hipótese básica, pois ambas prevêem a cobrança pelo uso da água. A hipótese negativa tem maior possibilidade de ser observada na maioria das bacias brasileiras, seja por facilidade de definir o quanto cobrar, seja por concentrar-se a cobrança sobre os setores industrial e de saneamento, colocando em segundo plano o setor agrícola. Verifica-se, portanto, que mantida a atual sistemática de cobrança da água pela área irrigada, com valores muito menores de tarifa do que os outros setores, que justamente o setor de maior consumo de água será o de menor participação na sustentação do sistema de gerenciamento de recursos hídricos, e o que terá a política tarifária menos eficaz quanto ao incentivo a um uso econômico da água.

O campo de aplicação dos resultados da pesquisa é muito amplo. Quanto à cobrança pelo uso da água na irrigação do arroz, os resultados podem ser aplicados à maior parte das bacias do Rio Grande do Sul, já que esta atividade agrícola é encontrada em grande parte do estado.

Quanto à medição de água em canais não revestidos, o campo de aplicação é praticamente o mesmo, já que são poucas as áreas irrigadas que não são atendidas por canais em terra.

Os estudos sobre gestão de perímetros coletivos podem ser aplicados nos projetos públicos e nos privados. Pelos dados levantados, 39,5% das lavouras são atendidas a partir do “arrendamento” da água. Considerando-se que esta água é entregue aos irrigantes a partir da ação de um gestor, há a possibilidade de se elevar a eficiência da distribuição da água com a aplicação do princípio usuário-pagador e pela medição de vazão, fazendo com que o irrigante passe a ser um agente diretamente interessado em um uso mais econômico da água, conforme previsto pela filosofia que embasa a atual legislação de gestão de recursos hídricos.

## 8. RECOMENDAÇÕES

As recomendações originadas por este estudo referem-se aos temas de gestão, economia e hidráulica, coerente com o desenvolvimento do trabalho.

Em relação à gestão de sistemas coletivos, verifica-se que os atuais projetos públicos do Rio Grande do Sul apresentam uma concepção e uma lógica de operação e estruturas de controle que são inadequadas ao manejo otimizado da água de irrigação. A falta de medição de vazão e a deficiência de controle são evidentes, bem como a dificuldade da sua alteração ou da substituição das estruturas existentes.

Estes sistemas devem ser analisados com detalhe suficiente para a concepção de novas estruturas e práticas de gestão, que resultem em um controle melhor e uma maior eficiência de distribuição e condução.

Verifica-se que se a função principal do canaleiro é a manutenção de um nível aproximadamente constante, isso pode ser realizado de forma muito mais precisa e constante por um vertedor de grande desenvolvimento. Portanto, recomenda-se o estudo da viabilidade de implantação destas estruturas, a partir da qual é possível manter um nível constante em trechos do sistema de canais e a adoção de estruturas padronizadas para tomada de água parcelar, facilitando o controle da vazão efetivamente distribuída a cada irrigante.

A discussão sobre formas de comando e controle de sistemas de irrigação atendidos por canais não aparece na bibliografia nacional consultada. A sua inserção no ensino superior formal ou complementar aparece como uma necessidade a ser suprida, uma vez que é a partir da filosofia de distribuição e seu controle que os sistemas são concebidos.

O estudo do *medidor IPH* deve ser ampliado e aplicado em canais de terra, uma vez que foi testado apenas em canais de concreto. Pela margem de erro encontrada, verifica-se que o mesmo tem potencial de se tornar uma solução de estimativa de vazão em trechos de sistemas de canais, auxiliando na definição de práticas de manejo, políticas de cobrança e distribuição e controle de perdas ao longo do sistema.

A estimativa do valor da água para irrigação deve ser ampliada para as demais bacias hidrográficas, como forma de subsidiar a definição de valores que possibilitem a

implantação dos planos de bacia, a observância de critérios de outorga e manutenção ou melhoria da qualidade de água.

Em termos de gestão de recursos hídricos, propõe-se que seja implantada uma sistemática de controle dos volumes outorgados para a irrigação, sendo que a medição destes deve ser subsidiada por recursos obtidos pela cobrança do uso da água na irrigação do arroz.

No primeiro ano, propõe-se uma cobrança generalizada por área, com um valor mais baixo do que os obtidos nos estudos realizados nas bacias do Quaraí, Santa Maria, Pardo-Pardinho, Sinos ou Gravataí. Esta cobrança não necessitaria ser materializada para o Estado, mas convertida em investimento em estruturas de medição de vazão ou de volume consumido, que seriam diferenciadas para lavouras irrigadas por gravidade ou por recalque mecânico. Ou seja, a estrutura seria da propriedade, e não do Estado. A implantação destas estruturas deveria abranger a maioria absoluta das grandes lavouras no primeiro ano e a totalidade das médias lavouras no segundo ano, com o que se obteria o controle da maior parte da área irrigada no Estado. Os pequenos agricultores deveriam estar cobertos até o final do quarto ano. Em caso de impossibilidade técnica de implantação de qualquer estrutura ou falta de interesse em implantá-la, o irrigante deveria contratar técnicos especializados para a definição da vazão em períodos típicos da lavoura (enchimento do quadro e manutenção da lâmina, por exemplo, conforme avaliado no caso do Chasqueiro) ou a intervalos de tempo determinados, como forma de estimar o volume consumido com uma menor margem de erro.

A partir do segundo ano, os valores necessários para a irrigação poderiam ser determinados por bacia, orientando o processo de outorga. A cada ano, os valores médios de cada bacia definiriam a outorga para as lavouras ainda não medidas, enquanto que o processo de implantação da medição de vazão continuaria avançando. Nesta proposição, em quatro ou cinco safras, todas as lavouras de arroz atualmente existentes poderiam estar controladas, seja por estruturas implantadas em canais, nos reservatórios ou nas estações de recalque.

A fonte de recursos para isto seria essa antecipação da cobrança. Adotando-se um referencial de 0,5 saco de arroz por hectare, o montante a ser arrecadado seria de meio

milhão de sacos ou, em termos médios, cerca de US\$ 5 milhões a cada ano. Com este valor, poderiam ser implantados equipamentos de medição e totalização de vazão em duas mil bombas centrífugas em um ano, por exemplo, considerando-se um custo médio de R\$ 5.000,00. Para isto, seria necessária a atuação do Departamento de Recursos Hídricos junto aos Comitês, no sentido de implantar esta cobrança generalizada e com finalidade específica, o que não contraria a legislação.

Com a definição dos volumes consumidos e com a possibilidade de manter o monitoramento do uso da água pela irrigação, uma política tarifária e de outorga poderia ser definida, buscando a otimização do uso da água do ponto de vista social e a redução do consumo para valores tecnicamente possíveis. A política tarifária poderia, então, definir premiação ou punição aos irrigantes mais e menos eficientes, respectivamente.

Por fim, recomenda-se que sejam realizadas pesquisas sobre a eficiência de condução de água em canais não revestidos na realidade da lavoura de arroz no Rio Grande do Sul, considerando fatores como solo, região do estado, regime de chuvas, condições de construção, conservação e operação do canal, entre outros, como forma de possibilitar a definição de valores referenciais de perda de água. Com base nestes valores de perda, a discussão sobre os valores referenciais de outorga não se dará mais a partir das necessidades da lavoura, mas sim considerando todo o sistema hidráulico envolvido, já que as perdas por condução e distribuição terminam sendo responsáveis por volumes significativos de retirada de água dos corpos hídricos que não chegam às lavouras.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABECASSIS, Fernando; CABRAL, Nuno. 2000. *Análise económica e financeira de projectos*. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). 2007. *Estudo preliminar sobre o potencial de arrecadação com a cobrança pelo uso de recursos hídricos na região hidrográfica do Guaíba no Rio Grande do Sul*. Brasília. (Nota Técnica 99/2007/SAG).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). 2009. *Documento ANA n. 2442/2009: apresentação em Power Point*. Uruguaiana. (Nota Técnica 054/2009/GEOUT/SOF-ANA).

AKERMAN, Paloma Batanero; MARTÍN, Eduardo Martínez. 2005. *Formulario técnico de hidráulica con problemas resueltos*. Madrid: Belisco.

ALBIAC, José; MEMA, Mithat; FEIJÓ, Maria Luisa; CALVO, Elena; MESTRE, Fernando; TAPIA, Javier. 2000. Análisis económico del regadío de Flumen-Monegros I. In: SYMPOSIUM NACIONAL, 2., 2000, Madrid. *Los regadíos españoles*. Madrid: Editorial Agrícola Española. (Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos del Centro y Canarias. Serie Técnica, v. 18).

ALBUQUERQUE, Flavio Giovanetti de. 2001. *Mudanças estruturais na economia como instrumento de gestão de demanda e como política de uso racional de recursos hídricos*. Disponível em: [www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajosnaranja/TC-073.htm](http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajosnaranja/TC-073.htm). Acesso em: 10 jun. 2008.

ALBUQUERQUE, Paulo Emílio Pereira de; DURÃES, Frederico Ozanan Machado. 2008. *Uso e manejo de irrigação*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.

ALVIM, Augusto Mussi; CARRARO, André. 2006. Cobrança pelo uso da água na sub-bacia hidrográfica do rio Pardinho: perspectivas e impactos econômicos sobre os usuários. *Redes*, Santa Cruz do Sul, v. 11, n. 1, p. 1-20.

AMARAL, Luís G. H. do; RIGHES, Afrânio A. 2005. Estruturas automáticas para Controle de água nos canais em lavoura de arroz irrigado. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 272-281, jan./abr.

ANKUM, P. 1996. *Selection of operation methods in canal irrigation delivery systems*. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/W4367E/w4367e0x.htm>>. Acesso em: 17 out. 2005.

ARROJO, Pedro. 2000. El impacto de la política de precios del agua de regadío en España. In: SYMPOSIUM NACIONAL, 2., 2000, Madrid. *Los regadíos españoles*. Madrid: Editorial Agrícola Española. (Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos del Centro y Canarias. Serie Técnica, v. 18).

ASSOCIAÇÃO DE BENEFICIÁRIOS DA OBRA DE FOMENTO HIDROAGRÍCOLA DO BAIXO MONDEGO. 2008. *Relatório e contas: ano de 2007*. Montemor-o-Velho, Portugal.

ASSOCIAÇÃO DE REGANTES E BENEFICIÁRIOS DO VALE DO SORRAIA. 2008. *Relatório e contas: exercício de 2007*. Coruche, Portugal.

AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON IRRIGATION AND DRAINAGE. 2000. *Channel control: how far do you go?* Tatura, Vic., Water Supply Control Workshop.

BALLOFFET, A.; GOTELLI, I.M.; MEOLI, G.A. 1948. *Hidraulica*. Buenos Aires: Ediar. t. 2.

BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. 2003. *Fundamentos de engenharia hidráulica*. 2. ed. rev. Belo Horizonte: Ed. UFMG. (Coleção Ingenium).

BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto; CIRILO, José Almir; MASCARENHAS, Flávio César Borba (Org.). 2003. *Hidráulica aplicada*. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 8).

BAUZIL, V. 1952. *Traité d'irrigation*. Paris: Eyrolles. v. 1.

BERNARDI, Cristina Costa. 2003. *Reuso de água para irrigação*. Monografia (Especialização) - ISEA-FGV\_Ecobusiness School, Brasília.

BRASIL. Lei no. 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 09 jan. 1997, Seção 1, p. 470, v. 135, n. 6.

BRASIL. Ministério do Interior. 1980. *Plano Diretor de Irrigação do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: FEE.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. 2001. *Projeto PROAGUA – Fortalecimento institucional, fase III - sistema de gestão da bacia do rio Paraíba do Sul. Cobranças pelo uso da água bruta: experiências européias e propostas brasileiras*. [Rio de Janeiro]: Laboratório de Hidrologia, COPPE/UFRJ.

BRATER, Ernest F. et al. 1996. *Handbook of hydraulics*. 7th ed. New York: McGraw-Hill.

CANEPA, Eugenio Miguel; Grassi; Luiz Antonio Timm. 2000. A lei das águas no Rio Grande do Sul: no caminho do desenvolvimento sustentável? *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, n. 21, p. 135-152, jul./dez.

CARDOSO NETO, A. *Bueiros*. Florianópolis: UFSC, 1997. Apostila elaborada para estudantes de engenharia ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

CARRERA-FERNÁNDEZ, José; GARRIDO, Raimundo-José. 2002. *Economía dos recursos hídricos*. Salvador: Edufba.

CARRICONDE FILHO, Joaquim. 1997. Seminário de gestão de projetos coletivos de irrigação, 1997, IPH/UFRGS, Porto Alegre. Comunicação oral.

CAUVIN, A. 1949. *Cours d'hydraulique*. Paris: Eyrolles.

CHANSON, H. 2006. Minimum specific energy and critical flow conditions in open channels. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 132, n. 5, p. 498-502, Sept./Oct.

CHANSON, H; MONTES, J.S. 1998. Overflow characteristics of circular weirs: effect of inflow conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. New York, v. 124, n. 3, p. 152-162, May/June.

CHERVELL, Marc; LE GALL, Michel. 1989. *Manuel d'évaluation économique des projets: la méthode des effets*. 2. éd. Paris: Ministère de la Coopération et du Développement.

CHOW, Ven Te. 2003. *Hidráulica de canales abiertos*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana.

CLEMMENS, Albert; DEDRICK, Allen. 1992. Identifying factors that influence farm water use. In: CONFERENCIA REGIONAL PANAMERICANA, 3., 1992. Mazatlán, Sinaloa, México. *Resúmenes*. México: Comisión Nacional del Agua. v. 2, t. 2.

CODEVASF. 2004. A experiência de grandes usuários de água: o setor da irrigação. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2004, Rio de Janeiro. *Recursos hídricos: problemas e os desafios do setor de recursos hídricos no Brasil*. Rio de Janeiro: BNDES.

COLLISCHONN, Walter; MEIRELLES, Fernando Setembrino Cruz; ENDRES, Luiz Augusto Magalhães. 2001a. Simulação numérica de canais de irrigação controlados por comportas automáticas. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 6. n. 1, p. 119-131, jan./mar.

COLLISCHONN, Walter; MEIRELLES, Fernando Setembrino Cruz; Endres, Luiz Augusto Magalhães. 2001b. Simulação numérica de canais de irrigação controlados por comportas automáticas. *Recursos Hídricos*, Lisboa, v. 22, n. 2, 49-59.

COMUNIDADE EUROPÉIA. Comissão. 2002. *A gestão das águas na política dos países em desenvolvimento e as prioridades da cooperação para o desenvolvimento da União Européia: comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu*. Luxemburgo.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., 2005, Santa Maria, RS e REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria, RS. 2005.

*Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil*. Santa Maria: SOSBAI.

CONSORCIO BINACIONAL CATAMAYO-CHIRA. 2005. *Proyecto binacional de ordenamiento, manejo y desarrollo de la cuenca Catamayo – Chira: valoración económica de los recursos naturales en la cuenca binacional Catamayo-Chira*. Loja: Universidad Nacional de Loja; Piura: Universidad Nacional de Piura.

CONTI, Marcelo. 1912. *Hidráulica agrícola: riegos y deságues*. Buenos Aires: Ángel Estrada.

DAKER, Alberto. 1987. *Hidráulica aplicada à agricultura*. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. v. 1.

DE BUFFON, Nadault. 1861. *Hydraulique agricole: applications de canaux de irrigation de l'Italie septentrionale*. 2ème. ed. Paris, Dunod.

DIRECTIVA 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. 2000. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, 22 dez., L327/1 a L327/72.

ESCRIBÁ BONAFÉ, Domingo. 1988. *Hidráulica para ingenieros*. Madrid: Librería Editorial Bellisco. (Colección Obras Hidráulicas).

ESMAEILI, Abdoulkarim; VAZIRZADEH, Solmaz. 2009. Water pricing for agricultural production in the South of Iran. *Water Resources Management*, Dordrecht, v. 23, n. 5, p. 957-964, Mar.

ESPAÑA. Ministério de Obras Públicas. 1963. *Recomendaciones para el proyecto de canales: 1ª parte*. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. 1973. *Medición del agua de riego*. México: Diana. (Manual de Ingeniería de Suelos. Sección 15: Riego, 5).

ESTADOS UNIDOS. Department of the Interior. Reclamation Service. 1918. *Measurement of irrigation water*. Washinton: Government Printing Office.

ESTADOS UNIDOS. Department of the Interior. Bureau of Reclamation. s.d. *Monitoring Systems within the Middle Rio Grande Conservancy District Irrigation System Flows*,

FAGUNDES, Carlos Aberto Alves. 1997. Perímetro de irrigação da barragem do Capané. In: Seminário de gestão de projetos coletivos de irrigação, 1997, Porto Alegre. [*Trabalhos apresentados*]. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

FERREIRA, Ido Vilela. 1986. *Distribuição de água em perímetros irrigados: bases racionais*. Brasília: CODEVASF/Programa Nacional de Irrigação. (Publicação 7/86).

FERRO, Vito. 2000. Simultaneous flow over and under a gate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 126, n. 3, 190-193, May/June.

FISCHER, Maurício Miguel. 2006. *Censo da orizícola 2005: apresentação em power point*. Porto Alegre: IRGA. Disponível em: <[www.irga.rs.gov.br](http://www.irga.rs.gov.br)>. Acesso em: 30 mar. 2009.

FLYNN, J. P. 1892. *Irrigation canals and the other irrigation works*. San Francisco: George Spaulding.

FORCHHEIMER, Philipp. 1950. *Tratado de hidráulica*. Barcelona: Labor.

FORGIARINI, Francisco Rossarolla; SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral. 2007. Cobrança pelo uso da água e comitês de Bacia: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Santa Maria/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. *Anais*. São Paulo: ABRH. 1 CD-ROM.

FRANÇA, Francisco Mavignier Cavalcante (Coord.). 2001. *Estado de arte nacional e internacional do agronegócio da irrigação*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil. (Série Políticas e Estratégias para um Novo Modelo de Irrigação, v. 2).

GOMES, Heber Pimentel. 1999. *Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba.

GÓMEZ-LIMÓN, José; Berbel, Julio. 2000. Impacto socioeconómico y ambiental de la política de precios de agua en las zonas regables: una propuesta metodológica. In: SYMPOSIUM NACIONAL, 2., 2000, Madrid. *Los regadíos españoles*. Madrid: Editorial Agrícola Española. (Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos del Centro y Canarias, v. 18).

GUROVICH, Luis A. 2001. *Riego superficial tecnificado*. 4. ed. ampl. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile. (Textos Universitarios).

HAMED, Garcia V. N.; CHÁVEZ ARIOSTO, Aguilar. 1992. Políticas de asignación basadas en productividad hídrica. In: CONFERENCIA REGIONAL PANAMERICANA, 3., 1992, Mazatlán, Sinaloa, México. *Resúmenes*. México: Comisión Nacional del Agua.

HERAS, Rafael. 1981. *Manual de ingeniería de regadíos*. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos. v. 2.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ. 2008. *Arroz irrigado no Rio Grande do Sul: área, produção e rendimento*. Porto Alegre. Disponível em: <[www.irga.rs.gov.br](http://www.irga.rs.gov.br)>. Acesso em: 30 mar. 2009.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ. 2007. *Custo de produção ponderado do arroz irrigado: safra 2007/2008 projeção*. Porto Alegre. Disponível em: <[www.irga.rs.gov.br](http://www.irga.rs.gov.br)>. Acesso em: 30 mar. 2009.

ISRAELSEN, Orson W. 1963. *Principios y prácticas del riego*. Barcelona: Reverté.

JAVAN, M; SHAHROKNIA, M.A. 2006. Dimensionless stage-discharge relationship in radial gates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 132, n. 2, p. 180-184, Mar/Apr.

JOHN, Merriam L. 1992. Tendencias actuales para el diseño moderno y la rehabilitación de sistemas de riego. In: CONFERENCIA REGIONAL PANAMERICANA, 3., 1992, Mazatlán, Sinaloa, México. *Resúmenes*. México: Comisión Nacional del Agua.

KLAMT, Egon; KAMPF, Nestor; SCHNEIDER, Paulo. 1985. *Solos de várzea do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS. (Boletim Técnico de Solos/UFRGS. Departamento de Solos, n. 4).

KRINNER, Wolfgang; GARCÍA; ESTRADA, Federico. 1994. Method for estimating efficiency in Spanish irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 120, n. 5, p. 979-986, Sept./Oct.

KUNIMITSU, Y. 2006. Pricing for irrigation water on Japanese paddy fields: applicability of stochastic choice model. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Southampton, v.98, p. 285-293. Disponível em: <<http://library.witpress.com/pages/PapreInfo.asp?PapreID=17127>>. Acesso em: 04 abr. 2009.

LAMADDALENA, N.; CIOLLARO, G.; SANTOS PEREIRA, L. 1994. Analysis of the models of distribution in two irrigation districts during the periods of limited availability of water. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1994, Milano. *Proceedings*. Merelbeke: CIGR.

LANNA, Eduardo. *Gestão das águas*. 1999. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Disponível em :<<http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip78/6.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2006.

LARESEN, Dorrell C. 1976. *Water measurement*. Idaho: Cooperative Extension Service. (University of Idaho. College of Agriculture. Bulletin n. 552).

LENCASTRE. A. 1996. *Hidráulica geral*. Lisboa: Ed. do Autor.

LEVI, Enzo. 1996. *Tratado elemental de hidráulica*. 2. ed. Morelos: Instituto Mexicano del Agua.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; FERREIRA, Raquel Scalia Alves; CHRISTOFIDIS, Demetrios. 1999. O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos de (Org.). *O Estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos*. Brasília, DF: ANEEL. p. 73-82.

LÓPEZ, Vicente Carcelén. 2000. El coste del agua de riego y la competitividad de las producciones agrarias de regadío. In: SYMPOSIUM NACIONAL, 2., 2000, Madrid. *Los regadíos españoles*. Madrid: Editorial Agrícola Española. (Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos del Centro y Canarias, v. 18).

MACHADO, Carlos José Saldanha. 2002. Experiências de aplicação dos princípios poluidor-pagador e usuário-pagador na gestão dos recursos hídricos. *Jornal da Ciência*, Rio de Janeiro, Edição Eletrônica 2176, 06 dez.

MACHADO, Sergio Luiz de Oliveira; MARCHEZAN, Enio; RIGHES, Afrânio Almir; CARLESSO, Reimar; VILLA, Silvio Carlos Cazarotto; CAMARGO, Edinaldo Rabaioli. 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, jan./fev.

MAGNA ENGENHARIA. 1996. *Simulação de uma proposta de gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio dos Sinos*: relatório final dos estudos. Porto Alegre.

MARCOLIN, Elio; MACEDO, Vera Regina Mussoi; GENRO JUNIOR, Silvio Aymone. 2007a. *Volume e eficiência de uso de água para a cultura de arroz em função de época de início de irrigação por inundação*. Porto Alegre: IRGA. Disponível em: <[www.irga.rs.gov.br](http://www.irga.rs.gov.br)>. Acesso em: 30 mar. 2009.

MARCOLIN, Elio; MACEDO, Vera Regina Mussoi; MENEZES, Valmir Gaedke; TRONCHONI, Roberto Longaray; FONSECA, Éverton Luis. 2007b. *Uso de água em duas lavouras comerciais de arroz irrigado por inundação no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: IRGA. Disponível em: <[www.irga.rs.gov.br](http://www.irga.rs.gov.br)>. Acesso em: 30 mar. 2009.

MARCOLIN, Elio; MACEDO, Vera Regina Mussoi. 2003. *Volume de água usada em três sistemas de cultivo de arroz irrigado (Oryza sativa L.)*. Porto Alegre: IRGA. Disponível em:<[www.irga.rs.gov.br](http://www.irga.rs.gov.br)>. Acesso em; 30 mar. 2009.

MAYER, Ruy. 1945. *A técnica do regadio*. Lisboa: Ed. Livraria Sá da Costa. (Coleção A Terra e o Homem, v. 2).

MEJIA SAENZ, E.; DE LEÓN MOJARRO, B. 1992. Mejoramiento de la operación manual de la red de conducción y distribución del distrito de riego nº 085, la Begoña, Gto, mediante modelos matemáticos. In: CONFERENCIA REGIONAL PANAMERICANA, 3., 1992, Mazatlán, Sinaloa, México. *Resúmenes*. México: Comisión Nacional del Agua. v. 2, t. 2.

NEGM, Abdel-Azim M. 2002a. *Analysis and modeling of simultaneous flow through box culverts and over contracted broad-crest weirs*. Disponível em: <<http://kfki.baw.de>>. Acesso em: 24 mar. 2009.

NEGM, Abdel-Azim M. 2002b. *Modeling of submerged simultaneous flow through combined weirs and gates devices*. Disponível em: <<http://kfki.baw.de>>. Acesso em: 24 mar. 2009.

NEHME, Magnus. 2008. *Valoração da água na bacia do rio Quarai: subsídio para elaboração de dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. Comunicação pessoal.

NEVES, Eurico Trindade. 1970. *Curso de hidráulica*. 2. ed. Porto Alegre: Globo.

OWEISS, Theid.; SHDEED, Kamel; GABR, Mohamed. 2000. *Economic assessment of on-farm water use efficiency in agriculture: methodology and two case studies*. New York: United Nations, Economic and Social Commission for Western Asia and International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.

PARKER, Philip À. Morley. 1913. *The control of water: as applied to irrigation, power and town water supply purposes*. London: George Routledge.

PARSINEJAD, M.; YAZDANI, M.R. 2002. Field evaluation of water application efficiency in rice paddy fields (case study: Guilan, Iran). In: INTERNATIONAL CONGRESS ON IRRIGATION AND DRAINAGE, 18., 2002, Montréal. *Food production, poverty alleviation and environmental challenges as influenced by limited water resources and population growth*. Montreal: ICID. v. 1A.

PEREIRA, L. António; ALVES, Isabel Maria; PEREIRA, Luis S. 1986. *On paddy rice irrigation management: some research results aiming improvement.. In: EUROPEAN REGIONAL CONFERENCE OF INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE. 14., 1986, La Manga, Murcia, España. Solutions to water problems in areas with insufficient water resources: II. Improvement of water management. La Manga, Murcia: ICID. v. 2, p. 267- 279.*

PHENGPHAENGSY, Fongsamuth; HIROSHI, Okudaira. 2006. Improvement of irrigation efficiency in paddy fields in the lower Mekong basin – project (iiepf). In: CONFERENCE ON MEKONG RESEARCH FOR THE PEOPLE OF THE MEKONG, 2006. p. 18-21.

PLUSQUELLEC, Hervé. 2002. *How design, management and policy affect the performance of irrigation projects: emerging modernization procedures and design standards. Rome: FAO.*

PLUSQUELLEC, Hervé. 1992. The slow modernization of irrigation projects. In: CONFERENCIA REGIONAL PANAMERICANA, 3., 1992, Mazatlán, Sinaloa, México. *Resúmenes. México: Comisión Nacional del Agua. t. 1, v. 1.*

POIREE, Maurice; OLLIER, Charles. 1963. *Regadío: redes, teoría, técnica y economía de los riegos. Barcelona: Ed. Técnicos Asociados.*

PORTUGAL. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. 2001. *Programa nacional para o uso eficiente da água: versão preliminar. Lisboa: LNEC.*

PUGATCH, Valery. 2007. *A água não é consumida, e sim utilizada.* Disponível em: <[http://www.paginarural.com.br/artigos\\_detalhes.php?id=1580](http://www.paginarural.com.br/artigos_detalhes.php?id=1580)>. Acesso em: 20 set. 2008.

RAMOS, Milton Geraldo (Coord.). 1985. *Manual de produção do arroz irrigado.* Florianópolis, EMPASC. (EMBRAPA. Sistemas de Produção. Boletim 270)

RAPOSO, José Rasquilho. 1996. *A rega: dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega.* Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

REBOUR, H.; DELOYE, M. 1971. *El riego.* 2. ed. rev. ampl. Madrid: Mundi- Prensa.

REPOGLE, Jonh. 1992. Field applications of hydraulics for water delivery. In: CONFERENCIA REGIONAL PANAMERICANA, 3., 1992, Mazatlán, Sinaloa, México. *Resumenes*. México: Comisión Nacional del Agua. t. 2, v. 2.

RIBEIRO, Márcia Maria Rios; LANNA, Antonio Eduardo; PEREIRA, Jaildo Santos. 1999. Elasticidade – preço da demanda e a cobrança pelo uso da água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. [Anais]. [Belo Horizonte] : ABRH.

RIEU,T.; TRIEUL, L. 1994. Water and agriculture in France. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1994, Milano. *Proceedings*. Merelbeke: CIGR.

RIGHES, Afrânio Almir. 2000. Água, sustentabilidade, uso e disponibilidade para irrigação. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, n. 21, p. 91-102, jul./dez.

RIJO, M. Arranja, C. 2006. Qualidade de distribuição de água em canais de rega controlados por jusante. *Recursos Hídricos*, Lisboa, v. 27, n. 1, p. 71-89, maio.

RIJO, M.; HONRADO, J.; ALMEIDA, M.; ARRANJA, C. 2007. Controlo de um canal de rega: parte I: definição e apresentação geral. *Recursos Hídricos* Lisboa, v. 28, n. 2, p. 5-15, set.

RIJO, Manuel. 1993. Avaliação de caudais num canal de rega através de uma soleira espessa modificada. *Recursos Hídricos*, Lisboa, v. 14, n. 1, mar.

RIJO, Manuel. 1997. Controlo de canais: caracterização e classificação dos diferentes sistemas. *Recursos Hídricos*, Lisboa, v. 18, n. 3, p. 3-11, nov.

RIJO, Manuel. 2007. *Implementação da Lei 58/2005*. Penamacor, Portugal. Apresentação em power point.

RIJO, Manuel. 2003. Local automatic control modes in an experimental irrigation canal. *Irrigation and Drainage Systems*, v. 17, p. 179-193.

RIJO, Manuel. 1993. *Regulações de redes de rega colectivas em superfície livre*. Lisboa: Universidade Técnica. Excertos das lições da cadeira de Estruturas Hidráulicas e Redes de Rega do Mestrado em Engenharia de Rega e dos Recursos Agrícolas do Instituto Superior de Agricultura.

RIJO, Manuel; BETÂMIO DE ALMEIDA, A. 1994. Modelação matemática de comportas AMP (AMIL) num sistema de rega. *Recursos Hídricos*, Lisboa, v. 14, n. 1, ago.

RIJO, Manuel; BETÂMIO DE ALMEIDA, A. 1996. Tempos de resposta às variações de caudal em canais de rega. *Recursos Hídricos*, Lisboa, v. 16, n. 3.

RIO GRANDE DO SUL. 1994. Lei Estadual n. 10.350, de 30 de dezembro. *Política estadual de recursos hídricos*. [Porto Alegre: Crh-RS].

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio. 1946. *Melhoramentos da rizicultura no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre.

RISLER, E; WERRY, G. 1916. *Irrigations et drainages*. 3<sup>ème</sup> ed. rev. ampl. Paris: Librairie J.B. Baillière.

ROGERS, Peter; BHATIA, Ramesh; HUBER, Annette. 2001. *El agua como un bien económico y social: como poner los principios en práctica*. Santiago: Global Water Partnership.

ROSA, Genésio Mario da; PETRY, Mirta Teresinha; CARLESSO, Reimar. 2000. Disponibilidade, eficiência e racionalidade na utilização de recursos hídricos. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, n. 21, jul./dez.

RUBIO, I. 1949. *Elementos de hidráulica general y aplicada con motores hidráulicos*. 3. ed. Barcelona: Labor.

RUIZ C., V.M.; DE LEÓN MOJARRO, B; GONZÁLEZ T., J; BRENES G., A. 1992. Regulación automática de la distribución de agua en el distrito de Riego de Begoña, Guanajuato. In: CONFERENCIA REGIONAL PANAMERICANA, 3., 1992, Mazatlán, Sinaloa, México. *Resúmenes*. México: Comisión Nacional del Agua.

SAMANI, Jamal M.V.; Mazaheri, Mehdi. 2009. Combined flow over weir and under gate. *Journal of Hydraulic Engineering*, New York, v. 135, n. 3, p. 224-227, Mar.

SAMMIS, T.W.; MOTT, P.W. 1994. Water conservation using a computer controlled irrigation system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1994, Milano. *Proceedings*. Merelbeke: CIGR.

SANTOS, Marilene de Oliveira Ramos Múrias dos. 2002. *O impacto da cobrança pelo uso da água no comportamento do usuário*. Tese (Doutorado - Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

SERRICHIO, Cláudio; CALAES, Virgínia; FORMIGA JOHNSON, Rosa Maria; LIMA, Ângelo José Rodrigues; ANDRADE, Edílson de Paula. 2005. *Prêmio CAIXA melhores práticas em gestão local 2003/2004: o CEIVAP e a gestão integrada dos recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul, um relato da prática*. Rio de Janeiro: Caixa Econômica Federal.

SETTI, Arnaldo Augusto; LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; CHAVES, Adriana Goretti de Miranda; PEREIRA, Isabella de Castro. 2001. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. Brasília: Agência Nacional de Águas.

SILVA, Demetrius David da; PRUSKI, Fernando Falco. 2000. *Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais*. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos.

SILVA, Giselle Ramos; SANTOS, Vilma da Silva; OLIVEIRA, Edson Aparecida de Araújo Querido. 2007. A questão da utilização racional da água na economia brasileira: uma necessidade urgente. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2007, São José dos Campos e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 7., 2007, São José dos Campos. *Anais*. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba.

SOCIÉTÉ GRENOBLOISE D'ÉTUDES ET D'APPLICATIONS HYDRAULIQUES. 1976. *Irrigation gravitaire par canaux: conception du périmètre, étude des canaux et leurs revêtements*. Grenoble.

SOUSA JÚNIOR, Wilson Cabral. 2004. *Gestão das águas no Brasil: reflexões, diagnósticos e desafios*. São Paulo: IEB.

STAMPE, Marianne Zwilling. 2007. *O valor da água para irrigação na bacia do rio Gravataí*. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

STREETER, V. 1977. *Mecânica dos Fluidos*. São Paulo: McGrawHill.

TESTEZLAF, Roberto; MATSURA, Edson Eiji; CARDOSO, João Luiz. 2002. *Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio*. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola. Documento redigido em cumprimento à primeira fase de contrato de prestação de serviços com a Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação da ABIMAQ.

TIERCELIN, Jean-Robert (Coord.). 1998. *Traité d'irrigation*. Paris :Technique & Documentation.

TORRES, Luis A. A.; TANTALEÁN, Abelardo M. A.; MARCHENA Luis S. B. *WinFlume: version 1.05 software para el diseño y calibración de aforadores de garganta larga y vertederos de cresta ancha para medición de descargas en canales abiertos, manual del usuario*. Denver: U.S. Bureau of Reclamation, Water Resources Research Laboratory.

TRISOLDI, Angel. 1967. *El riego: planificación y prácticas*. Barcelona: Aedos.

TUYEN, Nguyen Ba. 2006. *Flow over oblique weirs*. Thesis (MSc) - Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. 2006. *Challenges to international waters regional assessments in a global perspective*. Nairobi.

UNITED NATIONS WATER. *World water Day 2009*. Disponível em: <<http://www.unwater.org/worldwaterday/flashindex.html>>. Acesso em: 20 mar. 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. 2007. *HidroPortal*. Disponível em: <[http://hidroprojetos.ctlab.UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA.br/gerhi/site.php?IDSite=7&Canal=Canais&IDCanal=28](http://hidroprojetos.ctlab.UNIVERSIDADE_FEDERAL_DE_SANTA_MARIA.br/gerhi/site.php?IDSite=7&Canal=Canais&IDCanal=28)>. Acesso em: ago. 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2008. Projeto TwinLatin WP9: acciones óptimas e impacto económico, informe final de la cuenca Cuareim - Quaraí. [Porto Alegre].

VIEIRA, Dirceu Brasil; TELLES, Dirceu D'Alkmin. 2001. Panorama da irrigação no Brasil: evolução, tendências, novas legislações. *Ingeniería del Agua*, Córdoba, v. 8, n. 2, p. 207-217, jun.

VILLASANTE, A. Losada. 2005. *El riego: fundamentos de su hidrología y de su práctica*. Madrid: Multi-Prensa.

VILLASANTE, A. Losada. 1995. *El riego: fundamentos hidráulicos*. 2. ed. rev. ampl. Madrid: Multi-Prensa.

WALKER, S. 1999. Causes of high water losses from irrigated rice fields: field measurements and results from analogue and digital models. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 123-127.

WICHELNS, Dennis. 2004. New policies are needed to encourage improvements in irrigation management. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 130, n. 5, p. 366-372, Sept./Oct.

WILSON, Herbert. 1911. *Irrigation engineering*. 6. ed. rev. ampl. New York: John Wiley.

WORLD BANK. 2004. *Brazil irrigated agriculture in the Brazilian semi-arid region: social impacts and externalities*. Washington. (World Bank. Report nº 28785- BR).

XU, Zangxue; TAKEUCHI, Kuniyoshi; ISHIDAIRA, Hiroshi; LIU, Changming. 2005. An overview of water resources in the Yellow River basin. *Water Resources Journal*, Bangkok, p. 1-30, Dec.

YEN, Jung-Fu; LIN, Chih-Han; TSAI, Chang-Tai. 2001. Hydraulic characteristics and discharge control of sluice gates. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Taipei, v. 24, n. 3, p. 301-310.