



## AVALIAÇÃO DO VALOR ECONÔMICO DA ÁGUA EM REGIÃO AGRÍCOLA DE ARROZ E SOJA – BACIA DO RIO SANTA MARIA/RS

Camila Dalla Porta Mattiuzi <sup>1\*</sup>; Guilherme Fernandes Marques <sup>2</sup>; Josué Medellín-Azuara <sup>3</sup> & Joel Avruch Goldenfum <sup>4</sup>

**Resumo** – Para a gestão adequada e sustentável dos recursos hídricos devem ser levados em consideração diversos fatores, dentre eles os custos e os benefícios econômicos advindos da utilização da água em seus diversos fins. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o valor econômico da água utilizada em uma região agrícola de arroz e soja, a partir da obtenção das curvas de benefício marginal, as quais relacionam a disposição do usuário a pagar pela água com a disponibilidade de água (Griffin, 2006). Foi utilizado o modelo de otimização agrícola SWAP (Statewide Agricultural Production); a área de estudo foi a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, no sul do Brasil. A partir das curvas de benefício marginal obtidas verificou-se que o valor marginal da água variou entre 0,02 R\$/m<sup>3</sup> a 0,10 R\$/m<sup>3</sup>. Estes resultados permitem comparar os custos e os benefícios econômicos da utilização da água, fornecendo subsídios para a melhoria na gestão das águas no Brasil, além de apresentar uma referência aos valores de cobrança de água, que é um importante instrumento de gestão dos recursos hídricos.

**Palavras-Chave** – valor econômico da água, gestão dos recursos hídricos, agricultura de arroz e soja.

## EVALUATION OF THE ECONOMIC VALUE OF WATER IN AN AGRICULTURAL RICE AND SOYBEAN REGION - SANTA MARIA RIVER BASIN/RS

**Abstract** – For the proper and sustainable management of water resources several factors must be taken into account, including the costs and economic benefits of using water for its various purposes. The objective of this study was to evaluate the economic value of water used in an agricultural rice and soybean region, using the marginal benefit curves, which relate the user's willingness to pay for water with the availability of water (Griffin, 2006). The agricultural optimization model SWAP (Statewide Agricultural Production) was used; the study area was the Santa Maria River Basin in southern Brazil. From the marginal benefit curves obtained it was verified that the marginal value of water ranged from 0.02 R\$/m<sup>3</sup> to 0.10 R\$/m<sup>3</sup>. These results allow us to compare the costs and economic benefits of water use, providing subsidies for the improvement of water management policies in Brazil, as well as presenting a reference to the values of water charging, which is an important tool for the management of water resources.

**Keywords** – Economic value of water, water resources management, rice and soybean agriculture.

<sup>1</sup> \*Pesquisadora em Geociências na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e mestranda no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) - [camilamattiuzi@gmail.com](mailto:camilamattiuzi@gmail.com); [camila.mattiuzi@cprm.gov.br](mailto:camila.mattiuzi@cprm.gov.br)

<sup>2</sup> Professor Doutor no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) - [guilherme.marques@ufrgs.br](mailto:guilherme.marques@ufrgs.br)

<sup>3</sup> Pesquisador na Universidade de California (UCDAVIS) - [jmedellin@ucdavis.edu](mailto:jmedellin@ucdavis.edu)

<sup>4</sup> Professor Titular no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) - [joel@iph.ufrgs.br](mailto:joel@iph.ufrgs.br)

## INTRODUÇÃO

Nos fundamentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos, a Lei 9.433 de 1997, temos que a água é um bem de domínio público, e que, além de ser um recurso natural limitado, também é dotado de valor econômico (Brasil, 1997). Para que seja realizada a gestão adequada dos recursos hídricos devem ser levados em consideração os custos e os benefícios econômicos advindos da utilização da água em seus diversos fins.

A cobrança pelo uso da água é um instrumento previsto na Lei 9.433/97, e visa atingir objetivos em três domínios: (i) financeiros, para recuperar capital e custos; (ii) econômico, para conservar água e aumentar a produtividade, e (iii) ambiental, para reduzir a poluição e melhorar a qualidade da água (Molle & Berkoff, 2007). Dessa forma, o conhecimento acerca do valor da água é fundamental para que o instrumento de cobrança seja aplicado adequadamente, de maneira a cumprir com seus objetivos.

Embora o Brasil tenha uma alta disponibilidade hídrica, a má distribuição desse recurso, bem como a superexploração e a falta de programas de manejo adequados causam graves crises de escassez hídrica em algumas regiões do país. Dentre elas pode-se citar a região oeste do Rio Grande do Sul, na qual grandes quantidades de água são utilizadas para a irrigação de culturas como arroz e soja, criando conflitos entre os usuários (ANA, 2010).

O objetivo da realização deste trabalho é calcular o valor econômico da água utilizada em uma região agrícola de arroz e soja, no sul do Brasil, a partir da obtenção das curvas de benefício marginal. As curvas de benefício marginal relacionam a disposição do usuário a pagar pela água com a disponibilidade de água (Griffin, 2006). Estes resultados permitem comparar os custos e os benefícios econômicos da utilização da água, fornecendo subsídios para a melhoria na gestão das águas no Brasil. Além disso, os valores econômicos da água calculados aqui servem de referência para o aperfeiçoamento de instrumentos de gestão econômica, como a cobrança pela água.

## MÉTODOS

### Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM) está localizada na região oeste do Rio Grande do Sul, fazendo parte da Região Hidrográfica do Rio Uruguai (Figura 1). A BHRSM compreende uma área de aproximadamente 15.790 km<sup>2</sup> (IBGE, 2015); 11% do seu território é utilizado para a produção de soja e 6% para a produção de arroz, sendo estas as duas principais culturas da bacia (DRH/SEMA, 2016). Destaca-se a ampla utilização dos recursos hídricos para irrigação, o que tem gerado conflitos com o abastecimento público, principalmente em ocasiões de estiagens (ANA, 2006).

Existem seis municípios inseridos na BHRSM: Cacequi, São Gabriel, Rosário do Sul, Santana do Livramento, Lavras do Sul, e Dom Pedrito. Neste trabalho os municípios foram utilizados como a divisão territorial para a obtenção das curvas de benefício marginal.

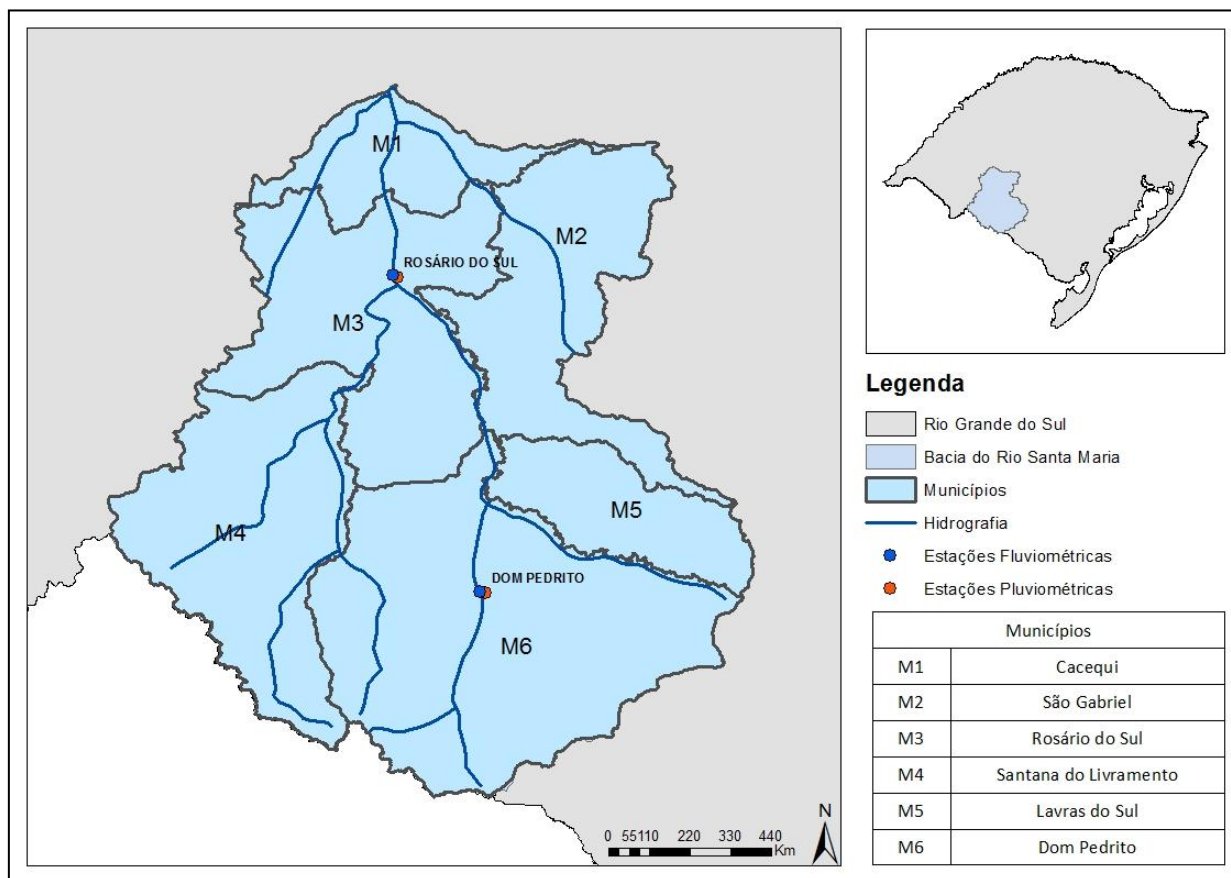


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria

## SWAP – Statewide Agricultural Production

O SWAP (Statewide Agricultural Production) é um modelo de otimização que maximiza o lucro dos produtores, ou seja, o benefício econômico dos agricultores (Howitt et al., 2012; Draper et al., 2003). Em regiões agrícolas homogêneas o SWAP seleciona culturas, suprimentos de água e outros insumos, sujeitos a restrições de água, de terra, e condições econômicas tais como preços, produtividades e custos, e otimiza a produção e o seu benefício econômico (Howitt et al., 2012).

O SWAP utiliza a metodologia da Programação Matemática Positiva (PMP), que foi desenvolvida por Howitt (1995). As principais vantagens do PMP são: auto-calibração com variáveis exógenas e a necessidade de um pequeno conjunto de dados de entrada para um ano base (Howitt et al., 2010). O método de Programação Matemática Positiva foi incorporado ao modelo SWAP por Howitt et al. (2001).

O processo de auto-calibração do PMP tem três etapas: (1) programação linear para maximização do lucro; (2) derivação dos parâmetros de uma função de custo baseada em multiplicadores de Lagrange; (3) incorporação de funções previamente calibradas em um programa de maximização não-linear de lucros. Assim, as funções econômicas de demanda de água são obtidas a partir de diferentes restrições de disponibilidade de água para a região estudada. (Howitt et al., 2012; Booker et al., 2012)

Os valores econômicos de uso da água foram estimados para seis regiões localizadas na Bacia do Rio Santa Maria. Existem quatro conjuntos de dados: terra (área plantada), água (requisito de água para as culturas), trabalho (número de horas trabalhadas) e suprimentos (insumos agrícolas)

(Howitt et al., 2012). Outros dados importantes são a produtividade em cada região, o preço de venda dos produtos e a elasticidade de substituição; o modelo SWAP inclui funções de produção de Elasticidade de Substituição Constante (CES) que permitem uma substituição limitada entre insumos (Howitt et al., 2012).

Os dados de entrada foram obtidos de diversas fontes, incluindo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015), IRGA (Instituto Rio Grande do Sul de Arroz, 2015), IMEA (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2015). Os dados também foram coletados a partir de uma visita na área de estudo e com os membros da AUSM (Associação dos Usuários de Água da Bacia do Rio Santa Maria).

O procedimento de cálculo SWAP é descrito abaixo, de acordo com Howitt et al. (2012) e de Medellín-Azuara et al. (2009). O índice  $g$  é a região de cálculo (M1, M2, M3, M4, M5, M6) e  $i$  é a cultura plantada (arroz, soja). O programa utilizado para resolver este modelo foi o GAMS (General Algebraic Modeling System) (Brooke et al., 1998).

Etapa 1: resolver a calibração do programa linear para maximização do lucro, na qual as restrições da calibração são relativas ao uso da terra e ao conjunto de culturas e seus valores observados; a função objetivo maximiza o benefício marginal, de acordo com a Equação 1.

$$Max \Pi = \sum_g \sum_i (v_{gi} yld_{gi} - \sum_{j \neq water} \omega_{gij} a_{gij}) x_{l_{gi,land}} - \sum_g \sum_w (watl_{gw} \overline{\omega}_{gw}) \quad \text{Equação 1}$$

Onde  $v_{gi}$  é o preço de cada cultura (retorno marginal),  $yld_{gi}$  é a produtividade média do ano base,  $\omega_{gij}$  são os custos médios,  $\overline{\omega}_{gw}$  são os custos de água,  $x_{l_{gi,land}}$  é a quantidade de terra,  $watl_{gw}$  é a quantidade de água,  $a_{gij}$  é o coeficiente de Leontief, o qual é dado pela razão dos inputs normalizados pela área plantada ( $\tilde{x}_{l_{gi,land}}$ ). A produção é limitada pela disponibilidade dos recursos água, terra, ou ambos.

Etapa 2: derivação dos parâmetros de uma função de custo ( $TC(x_{land})$ ) baseada em multiplicadores de Lagrange obtidos a partir das restrições do primeiro passo e das condições de primeira ordem da função objetivo

$$TC(x_{land}) = \delta e^{\gamma x_{land}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde  $\delta$  é o intercepto e  $\gamma$  é o parâmetro de elasticidade da função exponencial de área; estes parâmetros são obtidos através da calibração dos valores marginais obtidos na Etapa 1.

Etapa 3: incorporação de funções previamente calibradas em um programa de maximização não-linear de lucros, sujeito às restrições quanto ao uso dos fatores de produção (água, terra, mão-de-obra e suprimentos) utilizados na primeira etapa e nova restrição anual consumo de água. A função objetivo do programa de otimização não linear é maximizar o benefício marginal (Equação 3).

$$Max_{x \geq 0} \Pi = \sum_g \sum_i v_{gi} y_{gi} x_{gi,land} - \sum_g \sum_i (\alpha_{gi} + \gamma_{gi} x_{gi,land}^2) - \sum_g \sum_i \sum_{j \neq land} (\omega_{gij} a_{gij} x_{gij}) \quad \text{Equação 3}$$

O modelo SWAP assume que a água é intercambiável entre culturas e regiões, que os agricultores tentam maximizar os lucros, e que o mix de culturas selecionado é aquele que maximiza os lucros dentro de uma região.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O método PMP foi aplicado através do modelo SWAP para estimar as curvas de benefício marginal em seis municípios localizados na Bacia do Rio Santa Maria; o valor do benefício marginal representa a disposição dos usuários de pagar por uma unidade adicional de água, sendo um indicador do potencial econômico da água (Pulido-Velazquez, 2004).

Conforme relatado anteriormente, as culturas utilizadas neste trabalho foram arroz e soja; o arroz tem uma demanda maior de água do que a soja (aproximadamente duas vezes mais), o arroz tem um rendimento maior (aproximadamente três vezes mais), mas a soja tem preços de venda mais altos (aproximadamente o dobro do preço de venda do arroz). Os outros insumos também influenciam o valor marginal da água, mas são mais semelhantes entre soja e arroz, isto é, custos de terra, água e mão-de-obra.

Neste estudo, os valores marginais variaram de 0,02 R\$/m<sup>3</sup> (Cacequi) a 0,10 R\$/m<sup>3</sup> (Dom Pedrito) com 99% de disponibilidade de água, quando os usuários têm acesso a quase toda a água de que necessitam; os outros municípios apresentaram valores intermediários. Trata-se de uma enorme amplitude para uma área com características semelhantes, evidenciando assim as particularidades de cada região. Os gráficos da curva de benefício marginal, com disponibilidade de água variando de 99% a 50%, para os municípios de Cacequi e Dom Pedrito estão apresentados na Figura 2.

Dom Pedrito tem uma área plantada maior que Cacequi (114.548 ha contra 14.834 ha) e por isso precisa de grandes mudanças na disponibilidade de água para produzir uma mudança no valor marginal. Outro fator que influencia a curva de benefício marginal é o mix de culturas: as culturas com maior retorno econômico recebem prioridade para receber água. Com relação aos municípios aqui estudados, Dom Pedrito tem um crop mix de 42.985 ha de arroz e 71.563 ha de soja, enquanto Cacequi possui 7.656 ha de arroz e 7.178 ha de soja, ou seja, Dom Pedrito apresenta uma área plantada de uma cultura com alto retorno econômico (no caso, arroz), maior que Cacequi.

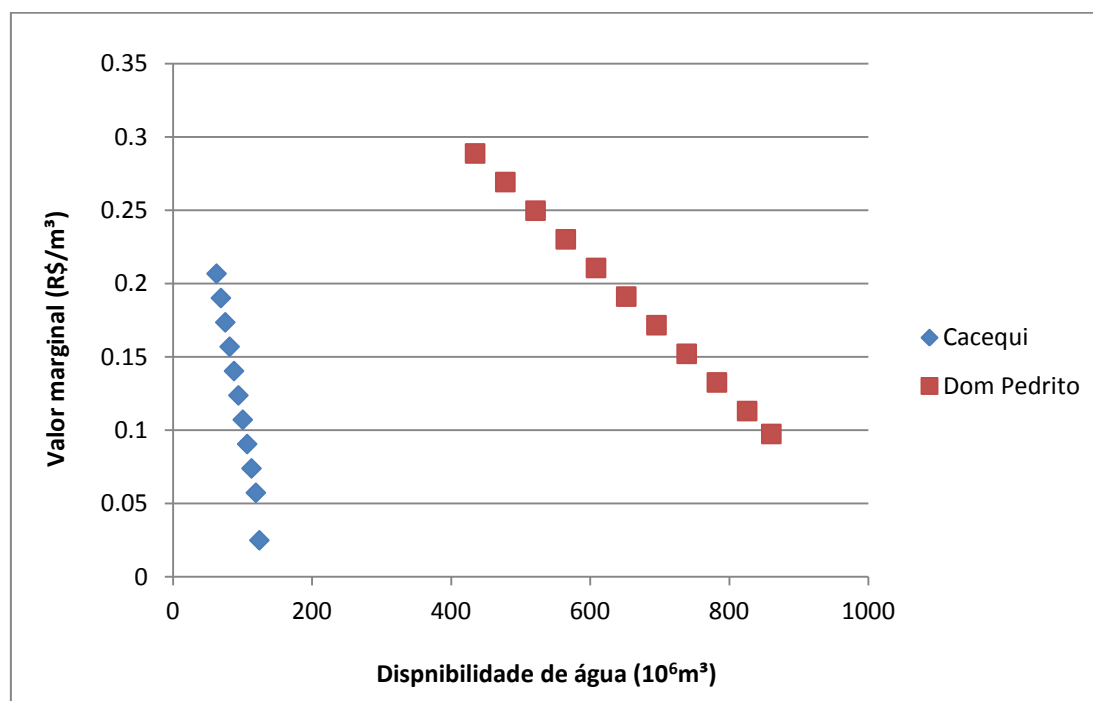


Figura 2. Curva de Benefício Marginal para Cacequi (M1) e Dom Pedrito (M6).

O valor marginal, obtido através dos multiplicadores de Lagrange, é uma referência importante na configuração de instrumentos econômicos de gestão focados na (i) indução do uso racional, (ii) compensação econômica e (iii) alocação econômica de curto prazo. Os valores obtidos neste trabalho são um indicador do benefício econômico do uso da água para a produção de arroz e soja. Deve ser feita a ressalva de que não é indicado utilizar estes valores exatos para as taxas de cobrança de água, porque existem outros fatores que influenciam o preço da água, como por exemplo fatores sociais, ambientais, entre outros. Os valores marginais obtidos neste trabalho podem servir como orientação, especialmente quando se tratar da cobrança de água para usos agrícolas.

O preço da água ainda não está definido na BHRSM, mas existem algumas estratégias em estudo (AUSM, 2017). Em um trabalho realizado pela AUSM foi comparado o sistema de cobrança proposto para a Bacia Hidrográfica do Guaíba, resultando em dois valores para uso de água em arroz irrigado: 0,007 R\$/m<sup>3</sup> e 0,015 R\$/m<sup>3</sup> (AUSM, 2009). Estes valores levam em conta o preço da captação de água, uso e liberação de matéria orgânica, porém este estudo não levou em consideração a diferença entre as várias fontes utilizadas para irrigação no SMRB. Outro estudo que simulou a cobrança de água bruta na BHRSM foi realizado com a participação de membros do Comitê da Bacia do Rio Santa Maria; o modelo proposto leva em consideração a cobrança pela liberação de matéria orgânica de acordo com a classe do corpo d'água. Os valores resultantes variaram de 0,008 R\$/m<sup>3</sup> a 0,012 R\$/m<sup>3</sup> (FATEC/UFSM/FINEP, 2009).

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi aplicado o modelo de otimização agrícola SWAP com o método de Programação Matemática Positiva para a obtenção das curvas de benefício marginal do uso de água em uma região agrícola de arroz e soja, no sul do Brasil.

Os resultados indicaram que houve uma variação dos valores marginais entre 0,02 R\$/m<sup>3</sup> (Cacequi) e 0,10 R\$/m<sup>3</sup> (Dom Pedrito). Estes valores representam a disponibilidade a pagar dos usuários, refletindo o valor econômico da água utilizada na irrigação de arroz e soja na Bacia do Rio Santa Maria. Estes resultados podem ser utilizados como referência no estudo de estratégias de cobrança de água na região.

A abordagem utilizada neste trabalho tem o diferencial de levar em consideração o valor marginal da água, dando suporte para a avaliação da alocação otimizada da água entre os usuários e auxiliando no planejamento adequado do uso deste recurso.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS e ao CNPq pelo suporte na realização deste estudo; à Associação dos Usuários de Água da Bacia do Rio Santa Maria pelo apoio no reconhecimento da área e na obtenção dos dados, e ao Professor Dr. Josué Medellin-Azuara pela capacitação e apoio na utilização do SWAP.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2006). Caderno da Região Hidrográfica – Uruguai. Brasília/DF, 132 p.

\_\_\_\_\_. (2010). Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água – Panorama Nacional, Volume 1. Brasília, DF, 72 p.

ASSOCIAÇÃO DOS USUÁRIOS DE ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA – AUSM. (2009). Simulação de Tarifa por Uso de Água por Hectare para Lavoura de Arroz Segundo Modelo Proposto para a Região Hidrográfica Do Guaíba. Dom Pedrito.

\_\_\_\_\_. (2017). Gestão: Tarifação. Disponível em: <http://www.ausm.com.br/gestao>. Acesso em 2017.

BOOKER, J. F.; MICHELSEN, A. M.; HOWITT, R. E.; YOUNG, R. A. (2012). Economics and the modeling of water resources and policies. *Natural Resource Modeling Journal*, v. 25, n. 1.

BRASIL. (1997). Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.. D.O. DE 09/01/1997, P. 470.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; & RAMAN, R. (1998). GAMS: A user's guide. GAMS Development Corporation.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DA SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - DRH/SEMA. (2016). Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

DRAPER, A.J.; JENKINS, M.W.; KIRBY, K.W.; LUND, J.R., HOWITT, R.E. (2003). Economic-engineering optimization for California water management. *J Water Resour Plan Manage*, v. 129, p. 155–16.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. (2015). Cultivares: soja.

FATEC/UFSM/FINEP. (2009). Simulação para Aplicação da Cobrança em Escala Real – St Hidro. Relatório Técnico Do Projeto, volume 1.

GRIFFIN, R.C. (2006). *Water Resource Economics, the Analysis of Scarcity, Policies and Projects*. Cambridge: MIT Press.

HOWITT, R. E. (1995). Positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 77, n. 2, p. 329-342.

HOWITT, R. E.; MEDELLÍN-AZUARA, J.; MACEWAN, D.; LUND, J. R. (2012). Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Environmental Modelling & Software*, v. 38, p. 244-258.

HOWITT, R. E.; WARD, K. B.; MSANGI, S. (2001). *Statewide Agricultural Production Model*. University of California, Davis.

HOWITT, R.; MACEWAN, D.; MEDELLIN-AZUARA, J.; LUND, J.R. (2010) Economic modelling of agriculture and water in California using the Statewide Agricultural Production Model (SWAP). A Report for the California Department of Water Resources . CA Water Plan.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2015). Banco de Dados: Cidades. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA - IMEA. (2015). Custos de Produção da Soja.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DE ARROZ. (2015). Custos de Produção do Arroz Irrigado.

MEDELLIN-AZUARA, J.; HOWITT, R. E.; WALLER-BARRERA, C.; MENDOZA-ESPINOSA, L. G.; LUND, J. R.; TAYLOR, J. E. (2009). A calibrated agricultural water demand model for three regions in northern baja California. *Agrociência*, v. 43, n. 2, p. 83-96.

MOLLE, F.; BERKOFF, J. (2007). Water pricing in irrigation: mapping the debate in the light of experience. In *Molle, Francois; Berkoff, J. (Eds.). Irrigation water pricing: the gap between theory and practice*. Wallingford, UK: CABI. pp. 21-93. (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 4).

PULIDO-VELAZQUEZ, M. (2004). Economic values for conjunctive use and water banking in southern California. *Water Resources Research*.