

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

---

**FERNANDA BALESTRO**

**ALOCAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DE ANÁLISE ECONÔMICA–  
APLICAÇÃO NA IRRIGAÇÃO DA BACIA DO RIO DOS SINOS**

Porto Alegre

Janeiro 2013

**FERNANDA BALESTRO**

**ALOCAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DE ANÁLISE ECONÔMICA– APLICAÇÃO NA  
IRRIGAÇÃO DA BACIA DO RIO DOS SINOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO  
AO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO  
SUL COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO  
AMBIENTAL.

Orientador: Carlos André Bulhões Mendes

Porto Alegre

Janeiro 2013

FERNANDA BALESTRO

ALOCAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DE ANÁLISE ECONÔMICA– APLICAÇÃO NA  
IRRIGAÇÃO DA BACIA DO RIO DOS SINOS

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 11/01/2013 pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....  
Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira – Diretor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas

.....  
Dr. Sandor Arvino Grehs – Professor Aposentado da UFRGS

.....  
Mestre Rosane Barbosa Lopes Cavalcante – Aluna de Doutorado do Instituto de Pesquisas  
Hidráulicas

Conceito:.....

Dedico este trabalho à minha família, que é a minha base de apoio e que sempre acreditou em mim.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente à minha família, que esteve sempre ao meu lado me apoiando em todas as etapas da minha vida.

Agradeço à UFRGS, por ter me proporcionado não apenas uma graduação, mas uma vivência acadêmica incrível.

Agradeço ao IPH e a todos os seus mestres, pelo carinho, dedicação e disposição para com os alunos.

Agradeço ao meu orientador, Professor Carlos André, por ter aceitado ser meu orientador e ter encarado este desafio ao meu lado.

Agradeço à amiga e colega Juliana Kaiber, sem ela este trabalho não teria sido possível.

Agradeço aos meus amigos, que estiveram comigo e compartilharam momentos de felicidade e tristeza, e sempre torceram e acreditaram em mim. Em especial à minha irmã (cuja amizade é parte essencial na minha vida) e também a Adriana, Cândida, Carine, Daniel, Débora, Juciana, Luciana, Maila, Regina e Rodrigo.

*“DAS UTOPIAS*

*Se as coisas são inatingíveis... ora!*

*Não é motivo para não querê-las...*

*Que tristes os caminhos, se não fora*

*A presença distante das estrelas!”*

**Mário Quintana**

## RESUMO

**BALESTRO, F. Alocação de Água Através de Análise Econômica – Aplicação na Irrigação da Bacia do Rio dos Sinos.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho visou avaliar se a gestão de recursos hídricos pode ser otimizada através da utilização de análise econômica e teve como estudo de caso a alocação de água para irrigação de arroz na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. A área de estudo foi definida através de identificação visual e comparação com tabelas e relatórios de plantações de arroz, utilizando-se o Google Earth e o Arcgis. A representação gráfica do problema foi feita através do uso do software MODSIM e, a partir da mesma, foram identificados os trechos de rio compreendidos na área de estudo e foram obtidas séries de vazões para cada um deles para compor os cenários de disponibilidade hídrica (os cenários utilizados foram de vazão máxima, Q75 e vazão média). A função objetivo foi obtida a partir de um gráfico que relaciona a receita obtida por hectare com a quantidade de água empregada para irrigação por hectare. A função objetivo, juntamente com todas as equações de restrição, foi inserida no software LINDO, o qual fez a otimização da alocação de vazão para os cenários de disponibilidade hídrica, buscando a maximização das receitas geradas na bacia. Pode-se observar que conforme a disponibilidade hídrica diminui, e não é possível alocar a quantidade máxima de água para irrigação para cada ponto, também diminui a receita obtida na bacia. Conclui-se que a análise econômica pode ser empregada para otimizar a alocação de água em uma bacia, sendo uma boa ferramenta para uso por parte dos comitês gestores ao tornar possível a incorporação de diversos critérios e restrições e tendo como objetivo a obtenção do máximo benefício.

Palavras-chave: otimização, análise econômica, gestão de recursos hídricos, alocação de água.



## ABSTRACT

**BALESTRO, F. Water Allocation using Economic Analysis – Application to the Irrigation in the River Basin of Rio dos Sinos.** 2012. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

This paper aimed at evaluating if the water resources management can be optimized by the use of economic analysis. Its case study was the allocation of water for irrigation in the river basin of Rio dos Sinos. The area of study was defined through visual identification and comparison with charts and reports of rice farming areas, employing the softwares Arcgis and Google Earth. The graphic representation of the case study was made using MODSIM, and from it the sections of the river basin comprised within the case study area were identified. For each of them it was obtained the flow rate series to be used for the scenarios of water availability (the tested scenarios were maximum flow rate,  $Q_{75}$ , which is the flow rate existent in 75% of the time, and medium flow rate). The objective function was obtained from a graph relating the income generated by hectare with the total quantity of water used for irrigation by hectare. The objective function, along with all the constraints, was inserted in the software LINDO, which then performed the optimization of the water allocation for the irrigation according to each water availability scenario, aiming at maximizing the total income generated in the river basin. It was possible to observe that as the water availability decreases and it is not possible to allocate the maximum water quantity for each irrigation point, so does the total income generated. It is concluded that economic analysis can be employed for water allocation optimization of the multiple water uses in a river basin and that it is also a good tool to be used by the management committees, as it makes possible to take into consideration several criteria and restrictions and aims at obtaining the maximum profit for the society and allowing multiple uses of the water along the river basin.

Keywords: optimization, economic analysis, water resources management, water allocation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Curva de Demanda Para Irrigação (Diaz et al., 2000) .....	6
Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos .....	13
Figura 3 - Níveis Diários do Rio dos Sinos ao Longo de 2011 .....	14
Figura 4- Fluxograma de Desenvolvimento do Trabalho.....	15
Figura 5- Imagem do Google Earth com os Shapefiles de Cidades, Pontos de Outorga de Água, Hidrografia e Polígonos Desenhados de Plantações de Arroz.....	16
Figura 6- Montagem Gráfica do Estudo de Caso .....	17
Figura 7 - Dados de Rendimento (Kg/Ha) por Volume de Água (M <sup>3</sup> /Ha) em Lavouras de Arroz em Santa Maria (RS) – Adaptado de Toescher et al. (1997).....	19
Figura 8 – Gráfico que Relaciona a Receita Gerada na Lavoura pela Quantidade de Água Empregada na Irrigação	20
Figura 9 - Exemplo de Balanço de Massa.....	24
Figura 10 - Municípios da Área de Estudo .....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rendimento de grãos, uso de água, eficiência de uso de água (relação entre rendimento de grãos e volume de água usado), vazão média e período de irrigação em uma UD e três lavouras comerciais de arroz na safra agrícola 2008/09 (Marcolin et al).....	10
Tabela 2 - Consumo de Água em Lavouras de Arroz por Sistema de Produção (adaptado de Macedo et al (2004)) .....	11
Tabela 3- Custo de Produção Médio Ponderado Arroz Irrigado Rio Grande do Sul Safra 2011/11 – Projeção (adaptado de IRGA 2010) .....	12
Tabela 4 - Comparação de Área de Plantio Obtidas no Google Earth com as Áreas do Relatório do IRGA 2010 .....	17
Tabela 5 - Área de Irrigação para Cada Ponto de Demanda .....	21
Tabela 6 - Percentual da Demanda Total Empregado por Mês.....	22
Tabela 7 - Restrição Máxima e Mínima de Volume de Água a Ser Alocado por Ponto de Demanda em Cada Mês de Irrigação .....	23
Tabela 8 - Cenários de Vazões Simulados para o Ponto de Controle 1 .....	23
Tabela 9 - Vazão Alocada Por Ponto de Demanda para o Cenário de Vazão Máxima .....	27

## LISTA DE SIGLAS

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

IRGA: Instituto Rio Grandense do Arroz

MGB-IPH: Modelo Hidrológico para Grandes Bacias desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

UD: Unidade Demonstrativa

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RHS: *right hand side*

## LISTA DE SÍMBOLOS

Q90: vazões com 90% de permanência no tempo por mês.

Q75: vazões com 75% de permanência no tempo por mês.

# CONTEÚDO

1.	Introdução .....	1
1.1	Justificativa .....	2
1.2	Objetivos .....	3
1.3	Hipótese .....	3
2	Revisão Bibliográfica .....	4
2.1	Análise Econômica .....	4
2.2	Modelos de Otimização .....	6
2.3	Função Objetivo .....	7
2.4	Variáveis Decisórias .....	8
2.5	Equações de Restrição .....	8
2.6	Exemplos de Aplicação .....	8
2.7	Produção de Arroz .....	9
2.7.1	Consumo de Água em Lavouras de Arroz .....	9
2.8	Custos da Produção de Arroz .....	11
3	Metodologia .....	13
3.1	Estudo de Caso: Área de irrigação de arroz na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos .....	13
3.2	Obtenção de Dados Geográficos de Plantio de Arroz para a Área de Estudo .....	15
3.3	Montagem Gráfica do Problema .....	17
3.4	Obtenção dos Dados de Vazões para os Pontos de Controle .....	18
3.4.1	Cenários de Vazões Utilizados .....	18
3.5	Montagem do Problema de Otimização .....	18
3.5.1	Determinação da Função de Produção .....	18
3.6	Função Objetivo .....	20
3.7	Variáveis Decisórias .....	22
3.8	Restrições .....	22
4	Análise dos Resultados .....	26
4.1	Definição da Área de Estudo .....	26
4.2	Resultados das Simulações .....	26
4.2.1	Aspectos Gerais dos Resultados .....	26

4.2.2	Resultados das Simulações .....	27
5	Conclusões e Recomendações.....	28
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30
	ANEXO 1 – PLANILHA DE OUTORGAS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO SINOS (extraída de Pessoa, 2010).....	33
	ANEXO 2 – LISTAGEM DAS EQUAÇÕES DE RESTRIÇÃO UTILIZADAS PARA A MONTAGEM DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO.....	36
	ANEXO 3 – TABELA COM VALORES DE VAZÃO UTILIZADOS PARA OS CENÁRIOS.....	41
	ANEXO 4 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO DE VAZÃO MÁXIMA.....	52

## 1. INTRODUÇÃO

A escassez de um recurso natural, seja ele qual for, resultará em conflitos pelo uso do mesmo. Para o caso da água disponível em uma bacia hidrográfica, os conflitos irão se iniciar a partir do momento em que a mesma se tornar escassa e não puder suprir naturalmente às demandas de todos os usuários. Neste caso, os usuários a montante na bacia são beneficiados e os usuários mais a jusante prejudicados, tendo de lidar com problemas como menor vazão e menor qualidade de água. Deve-se partir de um entendimento, no entanto, de que nenhum uso da água na bacia deve afetar negativamente os outros usuários, seja na diminuição da disponibilidade quanto da qualidade da mesma e de que a gestão de águas deve proporcionar seus usos múltiplos. O conflito pelo uso de recursos hídricos tem como consequência natural a atribuição de um valor econômico ao mesmo. Segundo Lanna (2008),

O valor econômico decorre de que todo recurso escasso acaba por afetar as relações econômicas, e dessas pode-se estimar seu valor econômico. A água escassa para as primeiras necessidades da vida humana onera os que por essa condição são afetados, ônus derivado da necessidade de buscar água cada vez mais longe e, por isso, com custos cada vez maiores.

Esta premissa (de valoração econômica) é reconhecida em legislação, através da Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil, instituída pela Lei 9.433 em 8 de Janeiro de 1997. Conhecida, também, como Lei das Águas, essa norma regulamenta o que prevê o texto constitucional sobre a competência privativa do Estado em instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios para outorga de direitos de uso da água. Esse marco regulatório estabelece os principais fundamentos para a gestão de recursos hídricos no país, chamando em especial a atenção para as seguintes assertivas: (i) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e (ii) a gestão de recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas.

Dentro do contexto de gestão de água em situações de escassez, a análise econômica é uma boa opção de ferramenta, uma vez que induz a percepção da água como recurso econômico e o mercado a internalizar os custos do uso deste recurso em processos produtivos. Ainda, estimulam a eficiência no uso de recursos hídricos e a busca por novas tecnologias e agregam junto à análise de alternativas, critérios como aumento de demanda futura, qualidade da água e variabilidade temporal e espacial do valor da água.



Os modelos de otimização utilizando a valoração da água podem ser utilizados para auxiliar a tomada de decisão por parte de gestores. O objetivo final será otimizar a alocação de água de maneira a maximizar os benefícios à sociedade que a utiliza. Dentro deste contexto, este trabalho visa aplicar uma metodologia de valoração de água para o estudo de caso da irrigação de arroz na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. Serão abordados na revisão bibliográfica tópicos que explicam a abordagem hidroeconômica, os modelos de otimização e os elementos matemáticos que os compõe, exemplos de aplicação e uma explicação dos softwares utilizados.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Apesar de o Brasil possuir uma das maiores reservas de água doce do mundo, o uso indiscriminado dos recursos hídricos tem gerado sérios impactos aos seus usuários. O surgimento de problemas relacionados à escassez de água e múltiplos usuários ao longo das bacias hidrográficas, que disputam a utilização de suas águas têm estimulado o surgimento de leis que disciplinam o seu uso e a busca por um gerenciamento de recursos hídricos que objetive a alocação eficiente da água disponível ao longo da bacia.

Em reconhecimento a estes problemas, a Lei 9.433/97, conhecida como Lei das Águas possui as seguintes assertivas: (i) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e (ii) a gestão de recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas. Dentro do contexto destas assertivas e da realidade de escassez, é importante conhecer, para uma bacia hidrográfica, quais são os usos da água na mesma e as demandas de cada uso. O objetivo disto é o de alocar mais eficientemente a água disponível entre os diversos usos que são feitos ao longo da bacia buscando, conforme Diaz et al. (2000), a eficiência econômica, ou seja, beneficiar a toda a sociedade para que a mesma obtenha o ganho máximo possível de seus recursos hídricos disponíveis.

Buscar a gestão e a alocação eficiente dos recursos hídricos, ou seja, otimizar este processo, pode ser feito através de uma análise econômica que busque a eficiência econômica. Esta é uma boa alternativa, segundo Young (2005, p.6), uma vez que além do uso para consumo humano e outros usos que não possuem valor econômico, a água possui valor como commodity e como insumo para diversos processos de produção, como diluente e transportadora de resíduos, como espaço recreativo e como habitat. Desta forma, se utilizarmos uma unidade monetária comum, sempre que possível, se torna mais fácil estabelecer uma rede para avaliar trocas e sinergias entre usos competitivos da água. Assim, dentro da análise econômica, se deve conhecer o valor da água para cada um destes usos e os

benefícios que os mesmos retornam para a bacia, para melhor gerenciar a mesma. Isto é feito através de modelos de simulação e otimização, nos quais são inseridos diversos dados, inclusive restrições que objetivam garantir, por exemplo, a vazão ecológica do rio, deixando claro que o objetivo da análise econômica não é privatizar o uso dos recursos hídricos e, sim, determinar os volumes que devem ser alocados, dentre os diferentes usuários, de modo que haja maximização do benefício econômico, sob a ótica da supremacia do interesse público.

Desta forma, e de acordo com as considerações acima, fica claro que se deve buscar a gestão das águas e que essas constatações podem ser de grande valia para instituições responsáveis pela prática de regulação e gestão de recursos hídricos, uma vez que essas organizações comumente se defrontam com diferentes usuários instalados em uma bacia hidrográfica. Ainda, para estes usuários há distintas finalidades de utilização da água, além de diferentes benefícios percebidos em sua utilização. O estudo de caso visa exemplificar a metodologia e as informações possíveis de serem extraídas da mesma e de que forma as mesmas podem auxiliar no processo de gestão.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é utilizar a análise econômica para otimização da alocação de água em uma bacia hidrográfica.

## 1.3 HIPÓTESE

A alocação de água em uma bacia hidrográfica pode ser otimizada através da utilização de análise econômica?

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ANÁLISE ECONÔMICA

Conforme Lanna (2008), a economia é a ciência social que tem seu foco dirigido à alocação ótima de recursos escassos. Este é o caso da água em diversos locais devido ao aumento da população que a utiliza e a seus usos múltiplos. Quando um recurso importante se torna escasso, ele passa a ser dotado de valor econômico. A própria Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) reconhece que a água é um bem dotado de valor econômico (art. 1º, inc. II).

Aplicar uma visão econômica é interessante, pois a economia está presente em toda a sociedade. Por exemplo, além de abastecimento humano e outros usos não econômicos, a água tem valor enquanto *commodity* e entrada em diversos processos de produção, diluente, transportador de poluentes, lazer e vazão ecológica, entre outros (Young, 2005, p.6). Cada uso diferente pode ser valorado. Uma maneira simples de visualizar a existência de valor econômico é pensar no custo de *não ter*. Ou seja, qual a perda gerada em um processo de a água não estiver disponível para este uso?

O objetivo final é sempre o de alocar a água de maneira eficiente entre os diversos usos e usuários e buscar a eficiência econômica. É importante distinguir eficiência econômica de eficiência financeira. Esta distinção é bem definida por Diaz et al (2000), que afirma que enquanto a eficiência financeira irá se preocupar apenas com fluxos monetários, a eficiência econômica está ligada a todos os bens e serviços públicos que são valorados pela população, mesmo que não haja troca monetária envolvida.

Surgem então os modelos hidroeconômicos, que são modelos de otimização que buscam solucionar problemas de gestão de água, onde a água é alocada e gerenciada visando maximizar os benefícios brutos através de curvas de demanda econômica de água. Segundo Harou et al (2009),

Os modelos hidroeconômicos representam, em escala regional, aspectos hidrológicos, de engenharia, ambientais e econômicos de sistemas de recursos hídricos dentro de uma rede coerente. A ideia é operacionalizar aspectos econômicos através da inclusão dos mesmos no centro de modelos de gestão de recursos hídricos. Estes modelos têm surgido como uma ferramenta privilegiada para a execução da gestão integrada de recursos hídricos. Os modelos hidroeconômicos são

ferramentas orientadoras de soluções para a descoberta de novas estratégias para o avanço no uso eficaz e transparente da água. O objetivo é olhar para um sistema de uma forma nova, para investigar modelos de gestão de água e percepções políticas promissores.

Geralmente as demandas por água são tratadas de forma estática, isto é, são fixadas as demandas e necessidades de água. Ao se agregar uma visão econômica, comentam Harold et al (2009), a gestão da água passa desta visão estática, que considera crescimento populacional, direitos de uso, prioridades e usos industriais e da agricultura para uma visão de demanda ligada ao conceito de “valor”. O valor muda de acordo com a quantidade e o tipo de uso e é a parte mais difícil de ser atribuída a um modelo hidroeconômico.

Assim, nos modelos hidroeconômicos o que determina a alocação da água é o valor que ela gera. Estes modelos são diferentes de modelos de engenharia apenas, que visam aumentar lucros e diminuir custos, pois agregam as demandas por água a estes princípios. Além disso, é importante salientar um conceito chave para a alocação eficiente da água: o de que o valor de uso e custo da água varia com as quantidades, ao invés de ser fixo (Harou et al.2009). Ou seja, em períodos de seca a água possui mais valor, por exemplo. Para a análise econômica, então, é necessária a curva de demanda de água, que relaciona a quantidade de água com o preço que o consumidor está disposto a pagar pela mesma ou a curva de benefício econômico, que relaciona o aumento de receita em decorrência do uso de água. Para o caso específico da agricultura, o benefício de uma área que demanda irrigação é medido pelo benefício líquido de aumento de renda obtido pela área irrigada e cultivada (Diaz et al., 2000). A figura 1, extraída de Diaz et al (2000), mostra uma curva de demanda para irrigação, que relaciona a quantidade de água que será empregada de acordo com o preço da mesma. A reta 2 considera o preço constante e a reta 1 considera o preço variável. Este gráfico permite observar pela reta 1 que quanto maior o valor da água, menor é o desejo de pagar pela mesma (o benefício decorrente do uso é inferior ao custo).

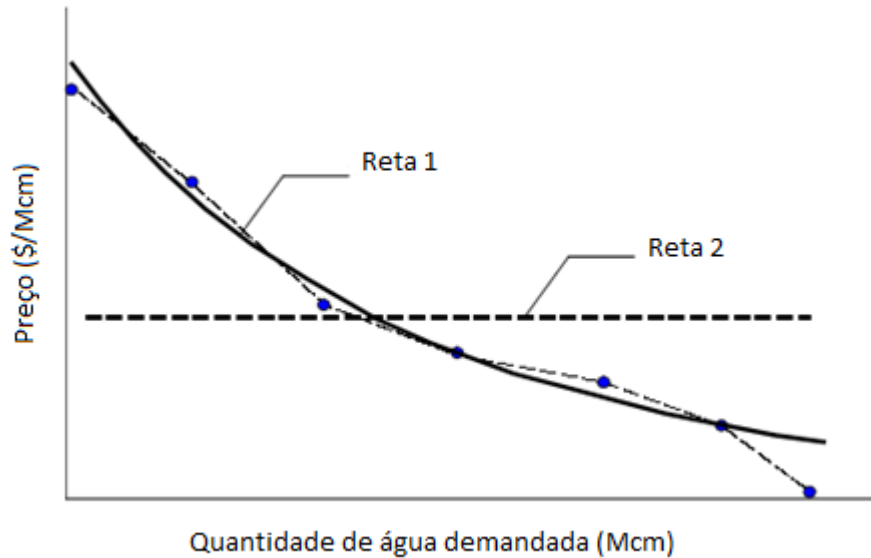


FIGURA 1 – EXEMPLO DE CURVA DE DEMANDA PARA IRRIGAÇÃO (DIAZ ET AL., 2000)

## 2.2 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

Segundo Gravelle e Rees (2004, p. 668-669), a otimização é o ato de escolher a “melhor” alternativa dentre todas as alternativas disponíveis. É uma descrição de como as decisões (as escolhas dentre as alternativas) deveriam ser tomadas. Todos os problemas de otimização são constituídos de três elementos (a função objetivo, as variáveis decisórias e as equações de restrição, que serão comentadas à frente). Conforme Harou et al. (2009), os problemas de otimização são formulados utilizando um objetivo que é representado matematicamente através de equações que representem restrições físicas ou de gerenciamento do sistema.

Também é relevante diferenciar simulação de otimização. Segundo Harou et al. (2009), as técnicas respondem a diferentes perguntas. Enquanto que na simulação a pergunta-chave é “e se”, na otimização, a pergunta-chave é “o que é melhor”. As técnicas podem ser usadas de maneira conjunta ou separadamente. As funções objetivo da otimização geralmente maximizam o benefícios líquidos (ou seja, o valor bruto dos benefícios esperados gerados pela utilização da água menos os custos) na hidroeconomia.

Para clarificar ainda mais o uso de modelos de otimização dentro de hidroeconomia, vale citar o exemplo de Harou et al (2009):

Por exemplo, as simulações da liberação de água de represas são baseadas no armazenamento existente, sem prever entradas futuras. As regras de operação contemplam aspectos operacionais, legais e regulamentações institucionais. Elas permitem que os modelos de simulação repliquem as decisões de alocação de água

de acordo com as práticas de gerenciamento existentes. Os modelos de otimização seguem um objetivo ao invés de uma série de regras que não são diretamente implementáveis, como no caso de “maximização dos benefícios regionais brutos”. Neste caso, a valoração é essencial uma vez que é os benefícios decorrentes da alocação da água que definem a solução.

Como exemplos de modelos de otimização existentes, podemos citar o Modsim, desenvolvido na Universidade do Colorado e disponibilizado para uso pelos seus desenvolvedores. Conforme Machado (2009) comenta, este modelo é capaz de gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas, porém não incorpora curvas de benefício econômico.

Existem outros, como o LabSid - Aquanet, cujo desenvolvimento teve como base o Modsim e é um modelo integrado para análise de sistemas complexos em recursos hídricos. É constituído por um módulo base, responsável pelo traçado e pela integração entre os seguintes módulos: (1) alocação de água; (2) qualidade da água; (3) irrigação; (4) produção de energia; (5) análise econômica para alocação e (6) CAR - curvas de aversão a risco.

Além de modelos prontos, pode-se utilizar programas como Excel ou outros programas, como o LINDO, que permitem ao usuário formular nos mesmos o seu problema de otimização e programar as equações e restrições. Neste trabalho optou-se por utilizar o LINDO pela facilidade de formulação e programação do problema no mesmo.

Segundo Lindo Systems Inc., 2003, o LINDO (Otimizador Linear, Interativo e Discreto) é uma ferramenta de resolução de problemas lineares, integrais e quadráticos de programação. As áreas de aplicação do LINDO são extensas e muito variáveis, uma vez que a otimização em si possui ampla gama de aplicação. Entre elas podemos citar áreas de negócios, indústrias, pesquisa e governo. A inserção de um problema dentro do programa é feita de forma bastante simples e intuitiva, o usuário do programa digita o objetivo (maximizar, minimizar) e as equações de forma direta no programa.

O LINDO pode ser utilizado tanto para problemas simples, que possuem poucas variáveis decisórias e equações de restrição quanto para problemas mais complexos. Dentre as possíveis ferramentas disponíveis, foi escolhido para uso neste estudo devido à facilidade para programá-lo e utilizá-lo. Nas seções 2.4, 2.5 e 2.6 são apresentados os itens que devem ser compõe um problema de otimização.

### 2.3 FUNÇÃO OBJETIVO

Segundo Gravelle e Rees (p. 668-669, 2004), a função objetivo é o alvo a ser alcançado e define uma relação matemática entre as variáveis decisórias e a variável cujo valor nós desejamos maximizar ou minimizar.

A definição desta equação que desejamos maximizar ou minimizar (função objetivo) é parte fundamental de um problema de otimização .

## 2.4 VARIÁVEIS DECISÓRIAS

As variáveis decisórias são aquelas cujos valores ótimos devem ser determinados e que têm influência sobre a função objetivo. São variáveis cujos valores podem ser alterados.

## 2.5 EQUAÇÕES DE RESTRIÇÃO

São os limites impostos ao sistema, e aos quais estarão sujeitas a equação objetivo e as variáveis decisórias. Cada equação de restrição possui um valor RHS, *right hand side*, que determina o limite numérico da mesma. Por exemplo: preço máximo de compra e venda, valores de temperatura só podem ser maiores do que zero, armazenamento máximo de uma barragem, entre outros. As equações de restrição garantem que a solução seja possível fisicamente e garantem, por exemplo, no caso de gestão de recursos hídricos, que sejam contemplados usos como a vazão ecológica (através de uma restrição na qual o modelo não pode alocar toda a vazão disponível no rio para outros usos).

## 2.6 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Abaixo são citados alguns exemplos de aplicação de análise econômica em bacias hidrográficas, além de exemplos de obtenção de dados geográficos de pontos de demanda em bacias.

A otimização aplicada à recursos hídricos, em especial para o caso de irrigação ao longo de uma bacia, prevê localizar geograficamente os pontos de demanda de água na bacia. No presente trabalho isto foi feito através de uma associação de dados de relatórios, do software ArcGis e do software Google Earth. Triana et al. (2005) utilizaram o ArcGis associado a fotografias aéreas e visitas de campo para determinar os pontos de demanda. A empresa Sigmap Geoprocessamento Ltda (2004) elaborou um relatório de levantamento de áreas de cultivo irrigado e áreas úmidas no Rio dos Sinos e o fez através do uso de imagens de satélite LANDSAT, equipamentos de GPS associados ao software de sistema de informações geográficas IDRISI.

Abaixo serão descritos alguns casos que buscaram otimizar a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas utilizando diferentes modelos de otimização.

Triana et al. (2005) utilizaram um modelo de otimização, o MODSIM, junto de sistemas de informações geográficas (GIS) e de uma rede neural artificial (*artificial neural network – ANN*) para a gestão de uma bacia hidrográfica e controle de salinidade, levando em conta os direitos de uso e outras estruturas legais, institucionais e administrativas. A bacia hidrográfica em questão foi a do Rio Arkansas, onde existem conflitos de uso entre a irrigação e o uso para abastecimento da população, que vem crescendo. Os autores concluem que o modelo é uma importante ferramenta de auxílio à tomada de decisões e para a gestão da bacia, auxiliando na definição de estratégias para os problemas de contaminação da água devido à agricultura, mudanças na distribuição da água (abastecimento x irrigação) e disputas legais.

Machado (2009) em sua dissertação de mestrado propôs um procedimento que permita analisar a questão da alocação de água entre dois usos distintos – irrigação e produção de energia elétrica - com base em métodos da análise econômica, buscando contribuir em processos de tomada de decisão na área de planejamento e gestão de recursos hídricos. O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Preto e foram utilizados os modelos NEWAVE e Aqunet (que é um modelo de otimização brasileiro construído tendo como base o modelo MODSIM e que incorpora curvas de benefício econômico). Conclui que o procedimento pode auxiliar na tomada de decisões e que o mesmo é muito dinâmico, sendo necessária atualização constante visto os critérios econômicos inseridos no modelo (aqunet) e aos quais os resultados são muito sensíveis.

## 2.7 PRODUÇÃO DE ARROZ

O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz do Brasil, tendo semeado 1,053 milhão de hectares em 2012 (CONAB). O estado está dividido em regiões de produção de arroz, sendo elas: depressão central, planície costeira externa à Lagoa dos Patos, planície costeira interna à Lagoa dos Patos, fronteira oeste, campanha e zona sul.

### 2.7.1 CONSUMO DE ÁGUA EM LAVOURAS DE ARROZ

Sobre a importância da irrigação para a cultura de arroz, Macedo e Menezes (2004), afirmam:

No contexto de alta produtividade e qualidade de grão, a água é um fator de grande importância para a estabilidade da produção de arroz irrigado. Entre as vantagens da irrigação por inundação está a redução da incidência de plantas daninhas não aquáticas, o efeito termorregulador, a maior disponibilidade de nutrientes no solo para as plantas de arroz e a redução de mão de obra.



O consumo de água por lavouras de arroz é um tópico frequentemente abordado na literatura, devido à sua importância tanto econômica quanto pela demanda por recursos hídricos. Estas pesquisas apontam diferentes valores de consumo de água, variando conforme os autores. Para exemplificar, Machado et al. (2006) conduziram experimento em área de várzea, em Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico, na Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria(RS) e avaliaram o uso da água em diferentes sistemas: convencional, cultivo mínimo, pré-germinado, mix de pré-germinado e transplante de muda que variou de 5.431 a 6.422 e de 5.374 a 5.852 m<sup>3</sup>/ha.ano, respectivamente, para as anos agrícolas de 2000/01 e 2001/02. Segundo a Embrapa (2004):

No Estado do Rio Grande do Sul, considerando-se que a evapotranspiração média de uma lavoura de arroz irrigado varia em torno de 7, 2 mm dia (7.200 m<sup>3</sup> ha - período de 100 dias de irrigação) e que a quantidade de água requerida em uma lavoura de arroz, durante o mesmo período de irrigação, tenha sido de 12.000 m<sup>3</sup> ha (vazão de 1,4 L s ha ), a eficiência da irrigação corresponderia a 60%, valor este considerado aceitável, em nível mundial.

Já Marcolin et al realizaram um estudo na estação experimental de Cachoeirinha e em lavouras comerciais em Arroio Grande, Santo Antônio da Patrulha, Camaquã, Cachoeira do Sul, Nova Santa Rita e Viamão e obtiveram os resultados mostrados na tabela 1:

**TABELA 1 - RENDIMENTO DE GRÃOS, USO DE ÁGUA, EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA (RELAÇÃO ENTRE RENDIMENTO DE GRÃOS E VOLUME DE ÁGUA USADO), VAZÃO MÉDIA E PERÍODO DE IRRIGAÇÃO EM UMA UD E TRÊS LAVOURAS COMERCIAIS DE ARROZ NA SAFRA AGRÍCOLA 2008/09 (MARCOLIN ET AL)**

Parâmetros	Local			
	UD Cachoeirinha	Arroio Grande	Santo Antônio da Patrulha	Camaquã
Rendimento de grãos (kg/ha)	10.250	9.060	7.820	7.000
Uso de água (m <sup>3</sup> /ha)	6.705	11.808	6.912	9.038
Eficiência do uso de água (kg/m <sup>3</sup> )	1,5	0,8	1,1	0,8
Vazão média por ha (l/s)	0,9	1,2	1,0	1,0
Período de irrigação (dias)	88	110	78	100

Marcolin e Macedo (2001) apud Macedo e Menezes (2004) quantificaram em estudo que o volume de água utilizado para irrigação de arroz buscando alto rendimento na safra pode

atingir a média de 8.000m<sup>3</sup>/ha.ano, independentemente do sistema de produção adotado (conforme tabela 2):

**TABELA 2 - CONSUMO DE ÁGUA EM LAVOURAS DE ARROZ POR SISTEMA DE PRODUÇÃO (ADAPTADO DE MACEDO ET AL (2004))**

Sistema de Cultivo	Consumo de Água (m <sup>3</sup> /ha)
Convencional	7856
Direto	7145
Pré-germinado	7881

Ainda, segundo Vianna (1997) apud Macedo e Menezes (2004) o consumo de água frequentemente empregado em lavouras de arroz é de 12.000m<sup>3</sup>/ha, sem citar técnica de cultivo específica. Já Stone, L.F. (2005) salienta que para um período de irrigação de 80 a 100 dias, a vazão requerida será de 10.378m<sup>3</sup>/ha a 27.471m<sup>3</sup>/mês.ha. Considerando lâmina estática (não existem perdas para os drenos), o consumo passa a ser de 7.946m<sup>3</sup>/mês.ha a 12.162m<sup>3</sup>/mês.ha ou 5.320m<sup>3</sup>/mês.ha a 7.394m<sup>3</sup>/mês.ha quando considerada a precipitação.

Este consumo não é constante ao longo do ano. O ciclo biológico do arroz no Sul do Brasil varia entre 100 e 135 dias (Embrapa, 2004), porém também este ciclo varia com a espécie cultivada, técnica de plantio, cidade, etc, conforme observado na tabela 2 acima. O arroz não é irrigado durante todo o seu ciclo biológico. Segundo o censo do IRGA (2005), a maior parte da irrigação se iniciou no estágio de quatro folhas e a semeadura do arroz ocorreu majoritariamente até a primeira quinzena de novembro.

## 2.8 CUSTOS DA PRODUÇÃO DE ARROZ

É interessante observar que entre os custos de produção de arroz não é contabilizado o custo da água. Isto porque a água não é vista como um insumo, desta forma ela não apresenta um valor econômico para o produtor. A única forma em que a água entra nos custos de produção é através do custo de manejo da mesma (bombas, combustível, energia elétrica) associado ao sistema de irrigação empregado.

A tabela abaixo relaciona os custos de produção (IRGA, 2010/11) e tem como objetivo ilustrar o descrito acima :

TABELA 3- CUSTO DE PRODUÇÃO MÉDIO PONDERADO ARROZ IRRIGADO RIO GRANDE DO SUL SAFRA 2011/11 – PROJEÇÃO (ADAPTADO DE IRGA 2010)

CUSTO DE PRODUÇÃO MÉDIO PONDERADO DE ARROZ IRRIGADO (FONTE: IRGA)				
ITENS DO CUSTO				
CUSTOS VARIÁVEIS				
I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA		R\$/ha	Sacos/ha	Participação (%)
1	-	Combustível		
1.1	-	Operações lavoura	249,16	9,45
1.2	-	<b>Irrigação</b>	69,54	2,64
2	-	<b>Energia elétrica irrigação</b>	76,62	2,91
3	-	Sementes	141,07	5,35
4	-	Adubo (base e cobertura)	393,00	14,91
5	-	Agroquímicos	230,67	8,75
6	-	Aviação	65,00	2,47
7	-	Fretes	184,43	7,00
8	-	Transportes internos	37,20	1,41
9	-	Aguador (pagto. %)	36,64	1,39
10	-	Administrador (pgto. %)	18,17	0,69
11	-	Taxas (CDO, Funrural, Licenciamento)	138,40	5,25
12	-	Secagem	242,95	9,22
13	-	Juros s/CUSTEIO oficial	199,54	7,57
14	-	Juros s/capital próprio (custeio)	101,23	3,84
15	-	Terra (arrendamento)	277,76	10,54
16	-	Salários	266,55	10,11
17	-	Reformas e manutenções	404,16	15,33
TOTAL CUSTOS VARIÁVEIS		R\$ 3.132,09	118,83	77,67
II - CUSTOS FIXOS				
1	-	Depreciação	342,09	12,99
2	-	Renda dos Fatores (amortização)	557,74	21,16
TOTAL CUSTOS FIXOS		R\$ 899,83	34,15	22,33
CUSTO TOTAL		R\$ 4.031,92	152,98	100,00

### 3 METODOLOGIA

A seguir será descrita a metodologia proposta e aplicada neste trabalho a um estudo de caso, visando otimizar a alocação da água para irrigação de lavouras de arroz na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos tendo em vista diferentes cenários de disponibilidade de água e visando maximizar os ganhos obtidos na bacia.

#### 3.1 ESTUDO DE CASO: ÁREA DE IRRIGAÇÃO DE ARROZ NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS

A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos localiza-se na porção leste do Estado do Rio Grande do Sul e conta com uma área de 3.696 km<sup>2</sup>, o que corresponde aproximadamente a 4,4% da área da Região Hidrográfica do Guaíba e a 1,3% da área do Estado do Rio Grande do Sul. Sua localização é apresentada na figura abaixo:



FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS

Segundo o Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (PlanoSinos), existem cerca de 2.200 m<sup>3</sup>/ano de água disponíveis para cada habitante da Bacia. Ainda, a média de chuvas para a bacia varia de 1409,8 a 1616,5 mm/ano. Os usos de água consuntivos da bacia são para abastecimento público, criação animal, indústrias e irrigação. O levantamento feito por este plano diz ainda que a irrigação é responsável por 58% do uso anual de água nesta bacia. Fazendo o balanço hídrico para esta bacia, é concluído neste documento que o Rio dos Sinos tem condições de atender às demandas de água e manter uma vazão mínima (ecológica) no rio. Porém, todos os anos, conforme se aproxima o verão, época

de plantio do arroz, iniciam também um período de escassez de água nesta bacia. Com a escassez começam a existir conflitos e a busca por “culpados”, neste caso, geralmente os arrozeiros, conforme noticiado com frequência pelos jornais locais (abaixo estão citadas duas manchetes para ilustrar o fato cujos links estão listados nas referências bibliográficas).

- Rio dos Sinos: Municípios e arrozeiros divergem sobre captação de água (RuralBr)
- Irrigação das lavouras de arroz com água do Rio dos Sinos poderá ser proibida no Rio Grande do Sul (NovoHamburgo.org)

Um fator agravante dos conflitos por água no Rio dos Sinos é ilustrado pelo gráfico da figura 3, que relaciona o nível diário do rio (m) para o ano de 2011 (site do COMITESINOS). Podemos observar que a irrigação do arroz, a qual ocorre durante os meses do verão, coincide com períodos de níveis baixos no rio:



FIGURA 3 - NÍVEIS DIÁRIOS DO RIO DOS SINOS AO LONGO DE 2011

Devido ao histórico de conflitos na bacia e os múltiplos usuários da mesma, e levando em consideração que o relatório de diagnóstico ambiental desta bacia hidrográfica conclui que existe disponibilidade hídrica para atender a múltiplos usos, pode-se perceber que falta uma gestão hídrica eficaz.

A figura 4 sintetiza a metodologia utilizada no trabalho:

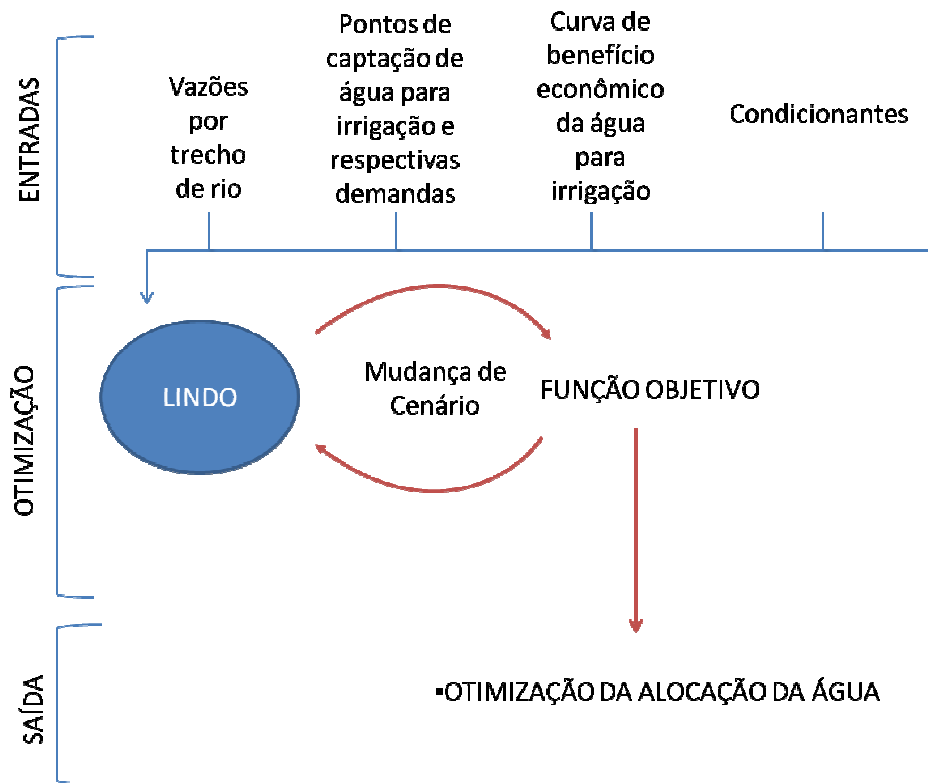


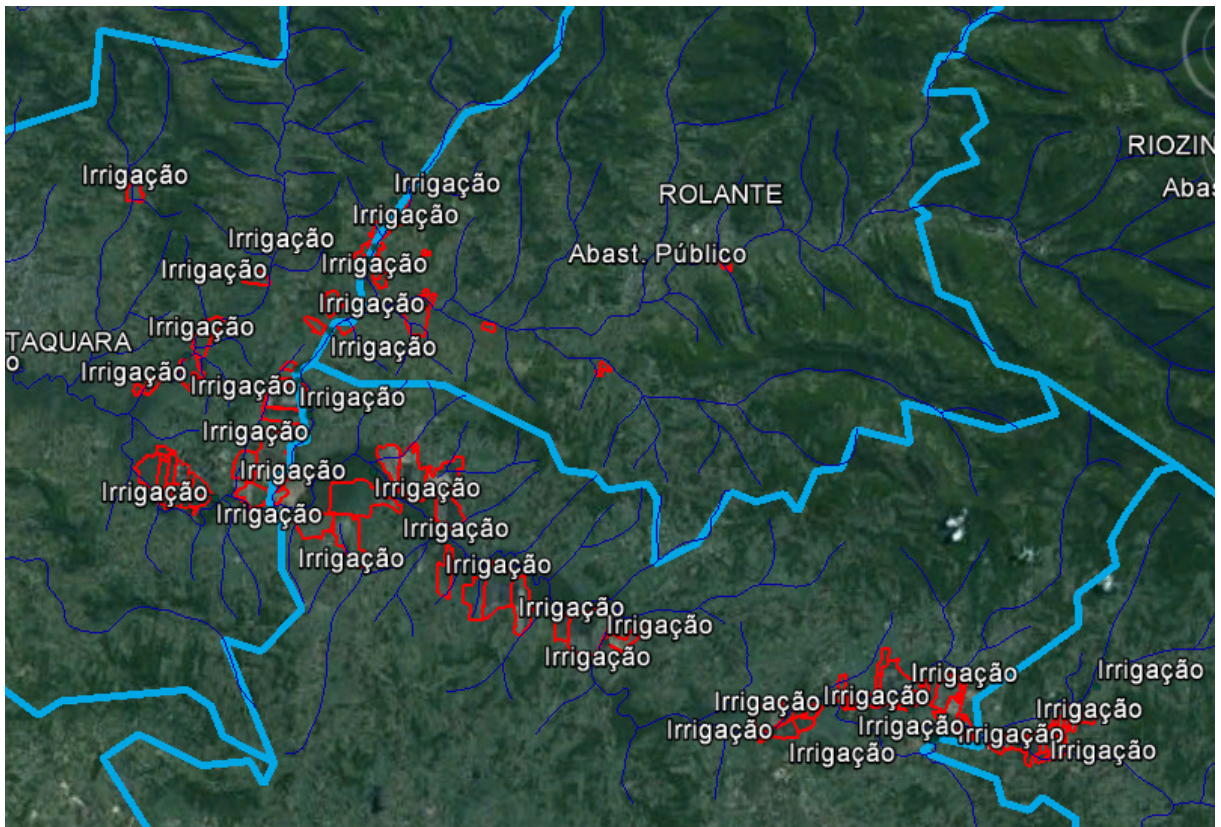
FIGURA 4- FLUXOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

### 3.2 OBTENÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS DE PLANTIO DE ARROZ PARA A ÁREA DE ESTUDO

Para a montagem gráfica da hidrografia do local de estudo de caso que será otimizado é necessário que, para a bacia com a qual se trabalhará, sejam obtidas as localizações de retirada de água no rio, para que seja calculada a demanda local e, assim, a vazão antes e depois de cada retirada. Para auxiliar no processo de identificação espacial das plantações de arroz fez-se uso de uma planilha com a listagem de outorgas concedidas para captação de água, que se encontra no anexo 1.

Esta planilha foi transformada em um shapefile no Arcgis utilizando-se as suas coordenadas geográficas. Este shapefile foi então carregado no Google Earth, permitindo identificar no mesmo os locais outorgados e delimitar a área de estudo à área que concentra a irrigação de arroz na bacia. No Google Earth foram desenhados os polígonos de todas as plantações de arroz que puderam ser identificadas visualmente. É importante ressaltar que alguns erros incorrem nesta análise: as imagens do Google Earth são de épocas diferentes e muitas vezes não estão atualizadas, a identificação visual pode estar equivocada ou ser afetada por imagens de satélite ruins e presença de nuvens e os polígonos desenhados carregam o erro do operador

que os desenha no programa. A figura 4 apresenta a imagem gerada no Google Earth com os shapefiles dos municípios da bacia do Rio dos Sinos onde se concentra a irrigação, bacia hidrográfica e pontos outorgados para uso de água, identificados com base na finalidade da outorga.



**FIGURA 5- IMAGEM DO GOOGLE EARTH COM OS SHAPEFILES DE CIDADES, PONTOS DE OUTORGA DE ÁGUA, HIDROGRAFIA E POLÍGONOS DESENHADOS DE PLANTAÇÕES DE ARROZ**

Todos estes shapefiles auxiliam no processo de identificação visual e demarcação das plantações. Os polígonos foram marcados e exportados para o Arcgis, para que fosse calculada a área total plantada por município da área de estudo. Esta área total foi então comparada com a área plantada que consta no relatório do IRGA, com a intenção de avaliar as diferenças encontradas. Diferenças são esperadas devido às características do método utilizado.

A tabela abaixo ilustra a comparação entre a área gerada no Google Earth e a área que consta no relatório do IRGA:

TABELA 4 - COMPARAÇÃO DE ÁREA DE PLANTIO OBTIDAS NO GOOGLE EARTH COM AS ÁREAS DO RELATÓRIO DO IRGA 2010

NOME	SAFRA		ÁREA GOOGLE EARTH	%
	SAFRA 2009/10 (IRGA)	2010/11 (IRGA)		
CARAA	146	156	179	115%
ROLANTE	480	460	231	50%
SANTO ANTONIO DA PATRULHA	13520		1947	14%
TAQUARA	351	585	778	133%

Obs: Para Santo Antônio da Patrulha foram desconsideradas as áreas de plantio que não se encontravam próximas ao rio.

### 3.3 MONTAGEM GRÁFICA DO PROBLEMA

A montagem foi feita no programa MODSIM, a partir de uma imagem do projeto no Arcgis, que continha as linhas da bacia hidrográfica, foram posicionados os pontos de demanda e os pontos de controle. O aspecto do problema ficou conforme abaixo:

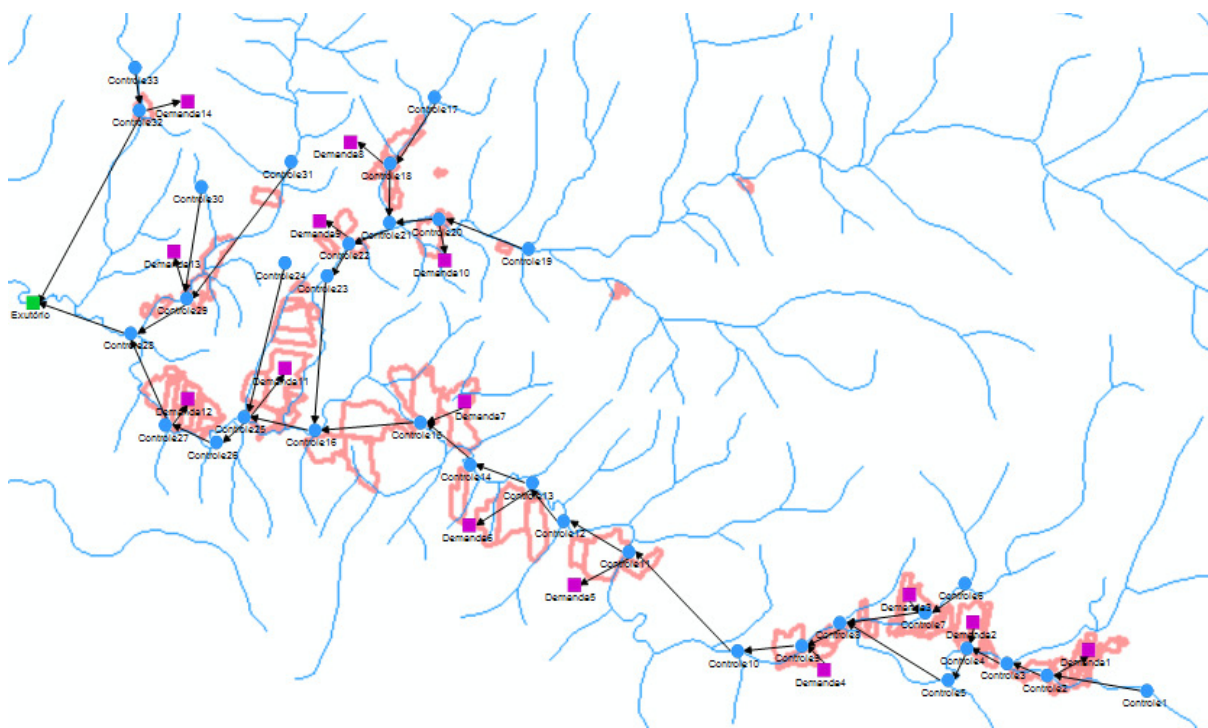


FIGURA 6- MONTAGEM GRÁFICA DO ESTUDO DE CASO



O consumo total de água em cada ponto de demanda é dado pela área de plantada de arroz suprida por este ponto de demanda vezes a demanda de água por hectare. Os cenários considerados simulam diferentes condições de disponibilidade (maior ou menor) de água nos cursos de água que alimentam as lavouras. O tempo de irrigação considerado foi de 100 dias, uma vez que o estudo considerado para a montagem da curva de benefício econômico, de Toescher et al. (1997), foi realizado em 98 dias de plantio e o início considerado foi em novembro, onde foram considerados 15 dias de irrigação, seguindo por dezembro (31 dias), janeiro (31 dias) e fevereiro (23 dias). O volume de água necessário para irrigação foi alocado, desta forma, proporcionalmente ao tempo de irrigação por mês.

A restrição imposta foi de manter sempre a vazão Q95 disponível no rio, considerada como vazão ecológica.

### 3.4 OBTENÇÃO DOS DADOS DE VAZÕES PARA OS PONTOS DE CONTROLE

As vazões foram obtidas a partir do modelo construído por Pessoa (2010), que calculou a disponibilidade de água utilizando o modelo chuva-vazão distribuído MGB-IPH. As vazões foram obtidas do modelo para as sub-bacias de interesse para a área de estudo.

Foram obtidas, a partir da vazão diária para cada sub-bacia, a vazão média para cada mês de cada ano considerado (1996-2006). Esta pode ser considerada uma limitação do trabalho, dado que o ideal seria trabalhar com as vazões simuladas diárias ao invés de média e deve ser considerada para trabalhos futuros.

#### 3.4.1 CENÁRIOS DE VAZÕES UTILIZADOS

A partir dos dados de vazões mensais médias para cada um dos anos foram calculadas as vazões para os cenários a serem otimizados, em  $m^3/mês$ , para cada uma das sub-bacias consideradas na área de estudo. Os cenários considerados foram de vazão máxima para cada mês em dez anos, vazão média para cada mês em dez anos e vazão Q75 para cada mês em dez anos. Além destes foi calculada a Q95 para cada uma das sub-bacias pois esta é uma restrição a ser aplicada no problema.

### 3.5 MONTAGEM DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

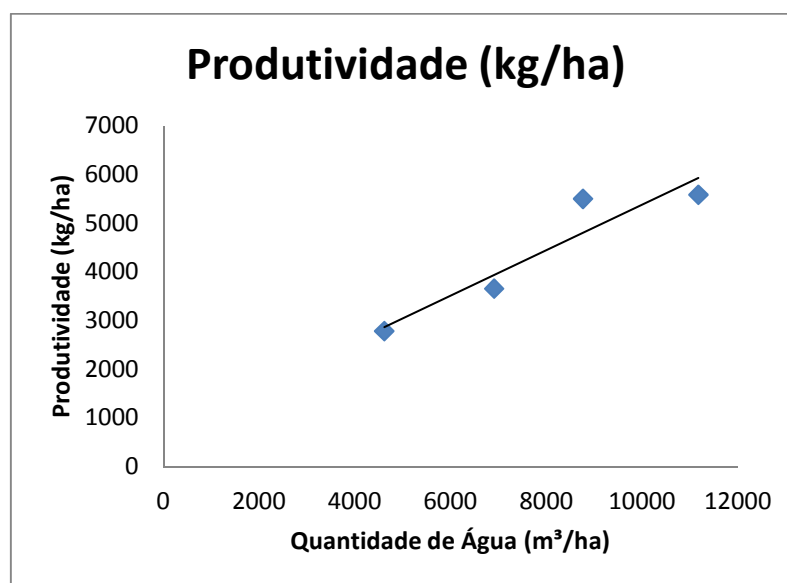
#### 3.5.1 DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

A função de produção relaciona a quantidade de água aplicada na lavoura ( $m^3/ha$ ) com o rendimento da mesma ( $kg/ha$ ). Esta relação é obtida através da determinação da linha de tendência que melhor se ajuste aos pontos plotados em um gráfico. Para a montagem deste

gráfico são necessários estudos locais que busquem estabelecer esta relação (estudos que variem a quantidade de água aplicada a uma lavoura sem modificar os outros parâmetros, para estudar os efeitos da mudança de rendimento conforme se muda a quantidade de água).

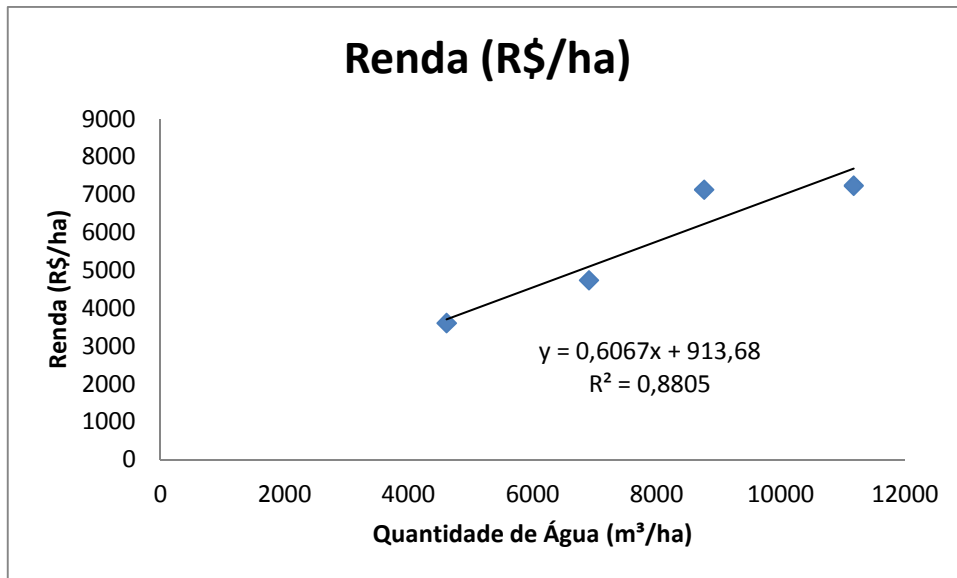
O gráfico abaixo apresenta a curva de produção utilizada neste trabalho. Como não existem estudos do gênero realizados para a Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, foi utilizado um estudo de Toescher et al. (1997) realizado em Santa Maria e que analisa variações de produtividade decorrentes de diferentes volumes de água e métodos de irrigação empregados.

**FIGURA 7 - DADOS DE RENDIMENTO (KG/HA) POR VOLUME DE ÁGUA (M<sup>3</sup>/HA) EM LAVOURAS DE ARROZ EM SANTA MARIA (RS) – ADAPTADO DE TOESCHER ET AL. (1997)**



A partir deste gráfico podemos gerar uma curva de benefício econômico, através da multiplicação do rendimento pelo preço de venda do arroz. Os preços considerados foram os publicados no site do IRGA para a semana de 09/11/2012, região da planície costeira externa e média entre os três preços médios praticados no mercado. Assim, o preço considerado foi de R\$ 38,56/ 50 kg. A partir do preço do arroz e do gráfico acima podemos gerar um gráfico que relaciona a renda do produtor com o consumo da água, conforme a figura 7:

FIGURA 8 – GRÁFICO QUE RELACIONA A RECEITA GERADA NA LAVOURA PELA QUANTIDADE DE ÁGUA EMPREGADA NA IRRIGAÇÃO



A partir deste gráfico podemos obter a função que relaciona o ganho do produtor com a quantidade de água que o mesmo utiliza na lavoura, sendo esta relação dada por

$$y = 0,6067x + 913,68 \quad (1)$$

onde:

$y$  = renda do produtor em R\$/ha

$x$  = quantidade de água empregada em m³/ha

Optou-se por um ajuste de função linear para possibilitar a entrada no modelo de otimização escolhido.

### 3.6 FUNÇÃO OBJETIVO

Considerando os cenários simulados para diferentes vazões disponíveis nos trechos de rio (anos com mais água disponível ou menos água disponível) poderemos ter anos em que não será possível atender a todos os arroseiros e ainda manter uma vazão mínima no rio. Desta forma, devemos otimizar a alocação da água entre os irrigantes na área de estudo de forma a maximizar os ganhos gerados.

A função objetivo utilizada para a solução deste problema é a função (1), que será reescrita como:

$$\text{Max } 0,6067Di + 913,68$$

onde

$D_i$  = quantidade de água empregada em  $m^3/há$  para o ponto de tomada de água  $i$

$i = 1, \dots, 14$  (identificador dos pontos de tomada de água)

Porém esta equação relaciona R\$/ha e desejamos que a função objetivo nos dê o resultado em R\$ apenas. Para isto a equação objetivo deverá ser multiplicada a uma variável da área de lavoura para cada ponto de demanda. Ainda, dado que a demanda de água é variável no tempo, uma vez que teremos irrigação em novembro, dezembro, janeiro e fevereiro a otimização deverá ser feita mês a mês, e a renda será dada pelo somatório de cada parcela, sendo o resultado dado em R\$. Assim, a função objetivo terá o seguinte formato:

$$Max \sum_{i=1}^{14} \sum_{j=1}^{12} (0,6067D_{ij} + 913,68) * A_i$$

Onde

$A_i$  = área irrigada no ponto  $i$  (ha)

$D_{ij}$  = quantidade de água para o ponto de demanda  $i$  no mês  $j$  ( $m^3/ha$ )

$i = 1, \dots, 14$

$j = 1, 2, 11$  e  $12$  (meses em que ocorre irrigação, nos meses restantes  $D_{ij} = 0$ )

A área em cada ponto de demanda é dada pela tabela abaixo:

**TABELA 5 - ÁREA DE IRRIGAÇÃO PARA CADA PONTO DE DEMANDA**

Nome do Ponto	$i$	$A_i$ (ha)
Demanda1	1	179
Demanda2	2	140
Demanda3	3	222
Demanda4	4	153
Demanda5	5	222
Demanda6	6	334
Demanda7	7	680
Demanda8	8	118
Demanda9	9	64
Demanda10	10	97

Demanda11	11	448
Demanda12	12	276
Demanda13	13	170
Demanda14	14	29

### 3.7 VARIÁVEIS DECISÓRIAS

As variáveis decisórias serão a quantidade de água a ser alocada para cada ponto de demanda em cada mês, ou seja  $D_{ij}$ , com  $i$  variando de 1 a 14 e  $j$  assumindo os valores de 1,2,11 e 12. O total de variáveis decisórias será de 56 (14 pontos de demanda vezes 4 meses de irrigação).

### 3.8 RESTRIÇÕES

Cada ponto de demanda tem uma vazão máxima e uma vazão mínima, ambos definidos pelo gráfico da figura 6, e que são, respectivamente, 11.175 m<sup>3</sup>/ha e 4.612 m<sup>3</sup>/ha. Ainda, esta vazão é o total para todo o período de irrigação, porém a quantidade de água utilizada varia com o mês. Desta forma deverá ser otimizada a quantidade de água a ser alocada para irrigação para cada mês.

A vazão disponível para ser alocada varia com o local na bacia onde se localiza o ponto de demanda, de acordo com as vazões disponíveis para o trecho de rio ao qual o mesmo se refere e que na representação gráfica são dadas pelos pontos de controle. Ainda, para cada ponto de controle existirá uma vazão mínima a ser deixada no rio (vazão máxima outorgável, equivalente a 90% da Q90).

A demanda é variável com o tempo, sendo que a tabela abaixo relaciona os percentuais da demanda total de água requerida de acordo com os meses do ano. O período de irrigação considerado é de novembro a fevereiro, ou seja, nos outros meses a demanda é igual a zero.

**TABELA 6 - PERCENTUAL DA DEMANDA TOTAL EMPREGADO POR MÊS**

Mês $i$	$i$	$P_i$
Janeiro	1	0,31
Fevereiro	2	0,23
Novembro	11	0,15
Dezembro	12	0,31

Os valores máximos e mínimos para cada mês de irrigação foram considerados como sendo os mesmos para os pontos de demanda variando de  $i=1$  a 14. Os valores máximos e mínimos em  $m^3/ha$  empregados por safra foram multiplicados pelos percentuais contidos na tabela 7 para definição das restrições de volume máximo e mínimo de alocação de água para irrigação em cada mês irrigado. O resultado é a tabela abaixo:

**TABELA 7 - RESTRIÇÃO MÁXIMA E MÍNIMA DE VOLUME DE ÁGUA A SER ALOCADO POR PONTO DE DEMANDA EM CADA MÊS DE IRRIGAÇÃO**

Mês	Restrição superior ( $m^3/ha$ )	Restrição Inferior ( $m^3/ha$ )
Janeiro	3464	1430
Fevereiro	2570	1061
Novembro	1676	692
Dezembro	3464	1430

As vazões para cada ponto de controle variam com o mês e o cenário proposto. A tabela abaixo exemplifica para o ponto de controle 1 os cenários propostos utilizados. Em anexo encontra-se a tabela completa, para todos os pontos de controle.

**TABELA 8 - CENÁRIOS DE VAZÕES SIMULADOS PARA O PONTO DE CONTROLE 1**

Mês	Vazão Máxima ( $m^3/mês$ )	0,1*Q90 ( $m^3/mês$ )	Vazão	
			Média ( $m^3/mês$ )	Q75 ( $m^3/mês$ )
1	17385297	43941	7096904	2202197
2	17820251	43575	7112760	2177071
3	18088648	44323	7080774	2073851
4	18351109	44323	7056283	2029745
5	18416913	47488	6984300	1956793
6	18210221	42592	6880088	1886474
7	17330781	41058	6670850	1763187
8	17046079	40028	6521153	1671087
9	17021998	39164	6370999	1637433
10	16992149	38428	6290222	1615569

11	17026179	753854	6234665	1519790
12	17485966	739807	6251448	1477942

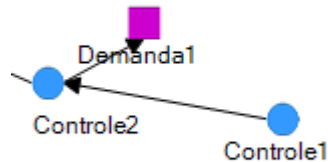


FIGURA 9 - EXEMPLO DE BALANÇO DE MASSA

A montagem do problema contemplando as restrições será feita a partir do balanço de massa para cada ponto. Por exemplo, para o caso da figura 7 e para o ponto de controle 2 no mês de janeiro, o balanço de massa será dado por:

$$Q_{21} = Q_{11} - D_{11} * A_1$$

Onde

$Q_{21}$  = vazão no ponto de controle 2 para o mês 1 (janeiro)

$Q_{11}$  = vazão para o ponto de controle 1 para o mês 1 (janeiro)

$D_{11}$  = quantidade de água a ser alocada no ponto de demanda 1 no mês 1(janeiro)

$A_1$  = área a ser irrigada no ponto de demanda 1

Desta forma, teremos que o balanço de massa terá de levar em consideração, para cada ponto de demanda, a área a ser irrigada, a quantidade de água alocada para irrigação naquele mês e as vazões para os trechos de rio antes e depois do ponto de demanda, as quais também variam com o mês. De maneira geral, a equação do balanço de massa será dada por:

$$Q_{zj} = Q_{(z-1)j} - D_{ij} * A_i$$

Onde

$Q_{zj}$  = vazão ( $m^3/mês$ ) no trecho de rio z no mês j

$D_{ij}$  = quantidade de água alocada para irrigação ( $m^3/mês.ha$ ) no ponto de demanda i no mês j

$A_i$  = área irrigada no ponto de demanda  $i$  (ha)

$i = 1, \dots, 14$

$j = 1, \dots, 12$

$z = 1, \dots, 33$

A lista completa de restrições utilizada na montagem do problema de otimização e a tabela completa com os cenários de vazões utilizados encontram-se em anexo.



## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para selecionar a área de estudo levou-se em consideração o critério de escolher cidades pertencentes à bacia do Rio dos Sinos com uso relevante de água para a irrigação. Inicialmente, no Arcgis foram abertos os shapefiles da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos e dos municípios pertencentes à mesma. Partiu-se para a região próxima a Caará, na nascente do Rio dos Sinos, cuja região próxima é tradicional produtora de arroz. Definiu-se que a área de estudo partiria de Taquara até Caará. Foi feita uma listagem com os municípios que localizam-se nesta área e, então, um cruzamento com o relatório de produção e produtividade do IRGA. O objetivo disto sendo o de averiguar a existência de plantações de arroz nestes municípios. Após este cruzamento e análise visual no Google Earth definiu-se a área de estudo como sendo os municípios abaixo:

Município
CARAA
ROLANTE
SANTO ANTONIO DA PATRULHA
TAQUARA

FIGURA 10 - MUNICÍPIOS DA ÁREA DE ESTUDO

Os shapefiles com a listagem de municípios da bacia do Rio dos Sinos e com a hidrologia foram carregados no Google Earth, onde foi realizada uma análise visual confirmatória das considerações feitas acima.

### 4.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

#### 4.2.1 ASPECTOS GERAIS DOS RESULTADOS

Abaixo é apresentado parte dos resultados para a simulação do cenário de disponibilidade hídrica de vazão máxima, com o intuito de exemplificar o formato nos quais os mesmos são fornecidos.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.7330662E+08

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
D11	891.039124	0.000000
D12	1061.000000	0.000000

O campo *objective function value* apresenta o valor ótimo para a função objetivo, o campo *variable* apresenta o nome da variável, *value* é o valor ótimo encontrado para a mesma e *reduced cost* que dá o valor que em que deveria ser alterado o coeficiente da variável para que fosse interessante incorporá-la na solução, para variáveis que possam ser zeradas.

#### 4.2.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

A única solução possível encontrada pelo modelo ocorre quando a vazão máxima está disponível. Para este caso, o lucro máximo da bacia hidrográfica é de 73 milhões de reais. O resultado completo da simulação encontra-se no anexo 4. Para os casos dos cenários de Q75 e Qmédia não existe solução possível. Isto pode ocorrer porque o problema de otimização foi montado de maneira a atender a restrição de alocar um mínimo de água para todos os irrigantes e de manter uma vazão mínima no rio e não existe uma solução possível que atenda a ambas as restrições. É possível que o problema apresentasse alguma solução caso a restrição de vazão mínima para os irrigantes fosse eliminada. A tabela 9 apresenta as demandas possíveis de serem alocadas para cada ponto de demanda para o cenário de vazão máxima. As vazões em vermelho são inferiores à vazão máxima possível de ser alocada. Através desta tabela, já podemos perceber a dificuldade de alocação de água para todos os irrigantes mesmo no melhor cenário possível.

Ainda, podemos fazer uma avaliação de que para casos em que não haja a vazão máxima disponível na bacia, e não seja possível alocar água para todos os irrigantes, a isto incorrerá em perda de receita gerada na bacia hidrográfica.

TABELA 9 - VAZÃO ALOCADA POR PONTO DE DEMANDA PARA O CENÁRIO DE VAZÃO MÁXIMA

Ponto de Demanda	Mês			
	janeiro	fevereiro	novembro	dezembro
1	1430	1061	692	1430
2	1430	1061	1676	3464
3	1430	1061	1676	1430
4	1430	1061	692	3464
5	1430	1061	692	3464
6	1430	1061	1676	1430
7	1430	1061	1067	1430
8	1430	1061	692	1430
9	1430	1061	692	1352
10	1430	1061	692	1430

11	1430	1041	692	1430
12	1430	1061	692	1430
13	1430	2570	692	1430
14	1430	2570	692	1430
<b>Máximo</b>	<b>3464</b>	<b>2570</b>	<b>1676</b>	<b>3464</b>
<b>Mínimo</b>	<b>1430</b>	<b>1061</b>	<b>692</b>	<b>1430</b>

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através dos resultados obtidos nas simulações realizadas pode-se observar que existem cenários de menor disponibilidade hídrica em que não será possível atender a todos os usuários irrigantes integralmente. Nestes casos o simulador opta por alocar menos água para alguns irrigantes, de acordo com as restrições ligadas a cada ponto de demanda e às vazões disponíveis. Pode-se perceber que estas decisões, que serão tomadas por um comitê gestor de bacia, poderão ser auxiliadas pelo modelo de simulação, ao se estudar cenários (alterando-se as restrições) que busquem diminuir o mínimo possível a receita da bacia e prejudicar o menor número de usuários.

Em um caso em que seja desenvolvida a análise econômica completa para a bacia, através da valoração de todos os usos e da inserção dos mesmos em um modelo, a resolução de conflitos existentes será beneficiada. Por exemplo, a partir do momento em que sejam inseridos em um modelo usos como abastecimento humano como restrição, isto significa que a alocação possível de água para irrigação a montante será diminuída tendo em vistas deixar disponível a jusante a quantidade de água necessária e fazendo cumprir o que dispõe a Lei 9.433, em seu artigo 1º, inciso III: em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; e que a mesma Lei dispõe que em casos de eventos extremos as outorgas poderão ser suspensas.

Ainda, quando da implementação de uma gestão de recursos hídricos desta forma e com cálculo do ônus financeiro que incorrerá à bacia pela não alocação de água para um determinado uso ficará a pergunta: quem deve pagar por este ônus? Por exemplo, o ônus da população não atendida porque não chega uma vazão suficiente devido à mesma ter sido empregada à montante deve ser pago por quem? Da mesma forma, quando se determinar que a irrigação seja suspensa, por exemplo, para suprir as demandas à jusante isto incorrerá em prejuízos aos produtores. Quantificadas todas as perdas e ônus, surgirão também justificativas financeiras para que o poder público invista em obras ao longo da bacia para diminuir conflitos, além de tornar-se possível identificar obras e investimentos prioritários.

A análise econômica pode servir para embasar a implantação de um sistema de cobrança pelo uso da água a partir do momento em que demonstra que a mesma apresenta valor econômico e que quantifica os ganhos e perdas financeiros decorrentes da disponibilidade ou não da mesma. Também incentiva a visão da água como um bem finito e a busca (neste trabalho exemplificado pelos produtores de arroz) de novas formas de obtenção de água ou de buscar a eficiência hídrica em sua propriedade.

A seguir serão listadas algumas recomendações para próximos trabalhos. Em primeiro lugar recomenda-se buscar o desenvolvimento de uma curva de produção para a área de estudo que relacione a quantidade de água empregada na irrigação com a produtividade obtida na lavoura. A mesma deve ser obtida através da realização de estudos em que se modifique a quantidade de água empregada e se mantenham constantes os outros parâmetros da cultura. O desenvolvimento da mesma permitirá a realização de estudos mais acurados e a representação mais fidedigna da realidade.

O presente estudo efetuou a análise econômica para um dos usos da água na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, mas, para estudos futuros e para efetivamente otimizar o uso de água na bacia, será necessário valorar os outros usos da água que na mesma ocorrem.

A montagem do problema instituiu como restrição que o modelo aloque uma quantidade mínima de água para todos os arrozeiros. No caso em que isto não seja possível o modelo não encontra uma solução para o problema. Porém, é possível que, caso esta restrição seja eliminada, o problema passe a apresentar solução para os outros cenários.

Finalmente, o modelo escolhido é um modelo de programação linear, que, portanto, não permite a entrada de outros tipos de função objetivo. Para estudos futuros, sugere-se a adoção de um modelo que permita o uso de funções não-lineares, que não limitem o desenvolvimento da função objetivo. Ainda, sugere-se a utilização de modelos de simulação da bacia hidrográfica aliados a modelos de otimização, de maneira a integrar os aspectos hidrológicos do sistema junto aos aspectos econômicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAZ, G.R.; BROWN, T.C.; SVEINSSON, O. 2000. **AQUARIUS: a modeling system for river basin water allocation**. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, RockyMountain Forest and Range Experiment Station. 172 p.

EMBRAPA. 2004. **Sistemas de Produção 03: Sistema de Cultivo de Arroz no Brasil**. Pelotas, 2004.

GRAVELLE, H.; REES, R.; 2004. **Microeconomics**. 3. Ed. Pearson Education Limited 2004. England.

HAROU et al. 2009. **Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects**. Journal of Hydrology 375 (2009) 627-643.

IRGA – **Censo da Lavoura de Arroz Irrigado do Rio Grande do Sul – Safra 2004/05**, disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1292592973censodg3.pdf>. Acesso em agosto de 2012.

IRGA – **Preços do arroz em casca no Rio Grande do Sul**. Semana de 09/11/2012, disponível em: [http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1352551337Precos\\_\\_Semanais\\_\\_do\\_\\_Arroz\\_\\_no\\_\\_RS\\_Casca\\_09\\_11\\_12.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1352551337Precos__Semanais__do__Arroz__no__RS_Casca_09_11_12.pdf)

LABADIE, J. W. 2010. **Modsim 8.1: river basin management decision support system – tutorials and example networks**. Colorado State University, 2010.

LABADIE, J. W. 2010. **Modsim 8.1: river basin management decision support system – user manual and documentation**. Colorado State University, 2010.

LANNA, A. M. 2008. **A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso**. Estudos avançados (22) 63, 2008.

LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997.

LINDO SYSTEM INC. **LINDO user's guide**. Chigago Illinois, 2011.

MACEDO, V.R.M.; MENEZES, V.G. 2004. **Influência dos sistemas de produção e manejo no uso de água pela planta de arroz.** 2004. Passo Fundo, UPF.

MACHADO, B. G. F., 2009. **Análise econômica aplicada à decisão sobre alocação de água entre os usos irrigação e produção de energia elétrica: o caso da bacia do Rio Preto.** 2009. 160f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília.

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

MARCOLIN et al. **É possível obter alta eficiência e alto rendimento de grãos em duas lavouras de arroz irrigado no RS.** Disponível em: [www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/4.1.2\\_efici\\_.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/4.1.2_efici_.pdf). Acesso em outubro de 2012.

PESSOA, M. E. P. 2010. **Integração de Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica na análise de processos de Outorga Quantitativa de uso da água: Aplicação na Bacia do Rio dos Sinos – RS.** 2010. 90f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PLANO SINOS – Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos – **Meta 3 – Atividade 3.3 – Síntese da Situação Atual dos Recursos Hídricos.** Revisão 1. Disponível em: [http://www.comitesinos.com.br/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=25&Itemid=39](http://www.comitesinos.com.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=25&Itemid=39). Acesso em novembro de 2012.

SIGMAP GEOPROCESSAMENTO LTDA. 2004. **Levantamento das áreas cultivadas com arroz irrigado e áreas úmidas na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos na safra de verão 2003-2004 através de imagens do satélite LANDSAT.** Porto Alegre, novembro de 2004.

STONE, L.F. 2005. **Eficiência do Uso da Água na Cultura do Arroz Irrigado.** Documentos 176. Embrapa, dezembro, 2005.

Triana, E.; Labadie, J. W.; Gates, T. K. 2005. **Combining a River Basin Network Flow Model and Artificial Neural Networks for Salinity Control in an Irrigated Valley.** World Water Congress 2005, Anchorage, Alaska, USA, 516-516.

YOUNG, R. A. 2005. **Determining the economic value of water: concepts and methods.** RFF Press Book. Washington, USA.

**Irrigação das Lavouras de Arroz com Água do Rio dos Sinos poderá ser Proibida no Rio Grande do Sul.** Matéria publicada no Rural Br, disponível em: <http://agricultura.ruralbr.com.br/noticia/2012/01/irrigacao-das-lavouras-de-arroz-com-agua-do-rio-dos-sinos-podera-ser-proibida-no-rio-grande-do-sul-3626343.html>. 10/01/2012.

**Rio dos Sinos: Municípios e arrozeiros divergem sobre captação da água.** Matéria publicada no novohamburgo.org, disponível em: <http://novohamburgo.org/site/noticias/especial/2011/12/08/rio-dos-sinos-municipios-e-arrozeiros-divergem-sobre-captacao-de-agua/>. 08/12/2011.

ANEXO 1 – PLANILHA DE OUTORGAS PARA A BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO DO SINOS (EXTRAÍDA DE PESSOA,  
2010)



Processo	Documentação	Situação	Finalidade	Vazão	Área Irrigada	Latitude	Longitude	Curso d'Água
				(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	(ha)	(m)	(m)	
008560-05.00/05-4	Portaria 314/06	Deferido	Irrigação	0,080	47,1	6.716.358	530.138	Rio Rolante
018618-05.00/04-3	Portaria 1742/06	Deferido	Irrigação	0,110	86,4	6.713.536	529.946	Rio Rolante
016991-05.00/04-9	Port 1123/06 Of 380/06	Deferido	Irrigação	0,050	40	6.718.044	527.068	Rio da Ilha
012653-05.00/04-3	Portaria 539/04	Deferido	Abast. Público	0,045	x	6.720.286	541.477	Rio Rolantinho da Areia
017076-05.00/04-2	Portaria 1569/06	Deferido	Irrigação	0,050	40	6.719.828	529.177	Rio da Ilha
010304-05.00/05-6	Portaria 250/06	Deferido	Irrigação	0,040	8,6	6.722.808	524.999	Arroio dos Tucanos
010287-05.00/05-0	Portaria 1570/06	Deferido	Irrigação	0,030	21,7	6.717.155	526.631	Rio da Ilha
008568-05.00/05-6	Portaria 257/06	Deferido	Irrigação	0,030	20	6.707.123	551.102	Arroio Grande
008569-05.00/05-9	Portaria 253/06	Deferido	Irrigação	0,040	27,5	6.706.940	550.029	Arroio Grande
009650-05.00/05-8	Portaria 252/06	Deferido	Irrigação	0,060	41,67	6.710.771	531.787	Arroio São José
009651-05.00/05-0	Portaria 264/06	Deferido	Irrigação	0,080	54,2	6.718.758	534.139	Rio Rolante
009632-05.00/05-0	Portaria 251/06	Deferido	Irrigação	0,010	8,3	6.721.995	533.152	Arroio Açoita Cavallo
009633-05.00/05-2	Portaria 263/06	Deferido	Irrigação	0,010	4,2	6.721.535	533.527	Arroio Açoita Cavallo
011737-05.00/05-0	Portaria 249/06	Deferido	Irrigação	0,010	2,3	6.717.931	531.126	Rio Rolante
013203-05.00/05-7	Portaria 526/06	Deferido	Irrigação	0,020	15	6.720.535	532.541	Arroio Açoita Cavallo
009634-05.00/05-5	Portaria 267/06	Deferido	Irrigação	0,095	53,5	6.712.697	527.505	Rio dos Sinos
009634-05.00/05-5	Portaria 267/06	Deferido	Irrigação	0,095	53,5	6.712.686	527.462	Rio dos Sinos
009647-05.00/05-5	Portaria 1314/06	Deferido	Irrigação	0,023	16,67	6.706.696	555.260	Rio dos Sinos
009647-05.00/05-5	Portaria 1314/06	Deferido	Irrigação	0,021	15	6.705.814	554.317	Rio dos Sinos
009505-05.00/05-4	Portaria 254/06	Deferido	Irrigação	0,060	37,5	6.706.029	554.992	Rio dos Sinos
009507-05.00/05-0	Portaria 266/06	Deferido	Irrigação	0,025	16,7	6.705.207	552.572	Rio dos Sinos
009506-05.00/05-7	Portaria 255/06	Deferido	Irrigação	0,030	16,7	6.704.978	551.555	Rio dos Sinos
009514-05.00/05-3	Portaria 256/06	Deferido	Irrigação	0,050	37	6.705.481	550.715	Rio dos Sinos
009371-05.00/05-5	Portaria 258/06	Deferido	Irrigação	0,130	83,3	6.705.120	550.197	Rio dos Sinos
009643-05.00/05-4	Portaria 262/06	Deferido	Irrigação	0,060	40	6.707.155	563.296	Rio dos Sinos
010288-05.00/05-3	Portaria 1504/06	Deferido	Irrigação	0,110	68,3	6.706.231	546.587	Rio dos Sinos
014452-05.00/04-9	Portaria 635/04	Deferido	Abast. Público	0,030	x	6.706.426	546.724	Rio dos Sinos
009349-05.00/05-6	Portaria 265/06	Deferido	Irrigação	0,030	17,9	6.705.120	550.197	Rio dos Sinos
009513-05.00/05-0	Portaria 261/06	Deferido	Irrigação	0,060	41,7	6.707.665	539.540	Rio dos Sinos
008558-05.00/05-4	Portaria 1372/07	Deferido	Irrigação	0,190	180	6.710.560	536.425	Rio dos Sinos

016896-05.00/04-4	Portaria 268/06	Deferido	Irrigação	0,190	107,1	6.711.700	535.087	Rio dos Sinos
008572-05.00/05-1	Portaria 269/06	Deferido	Irrigação	0,110	56	6.712.661	525.712	Rio dos Sinos
012637-05.00/04-0	Portaria 535/04	Deferido	Abast. Público	0,175	x	6.716.963	521.349	Rio dos Sinos
013483-05.00/05-8	Portaria 074/07	Deferido	Irrigação	0,010	5,8	6.705.692	547.938	Rio dos Sinos
008568-05.00/05-6	Portaria 257/06	Deferido	Irrigação	0,090	70	6.705.217	553.789	Rio dos Sinos
008559-05.00/05-7	Portaria 259/06	Deferido	Irrigação	0,080	42	6.712.868	525.600	Rio dos Sinos
010285-05.00/05-5	Portaria 1567/06	Deferido	Irrigação	0,060	43,8	6.705.911	553.971	Rio dos Sinos
010348-05.00/05-4	Ofício 313/06	Em Análise	Irrigação	0,038	24,6	6.720.795	529.610	Rio da Ilha
010290-05.00/05-3	Ofício 303/06	Em Análise	Irrigação	0,030	16,7	6.709.211	538.723	Rio dos Sinos
001831-05.00/02-0	Ofício 304/06	Em Análise	Irrigação	0,030	23	6.706.000	555.000	Rio dos Sinos
010283-05.00/05-0	Ofício 312/06	Em Análise	Irrigação	0,050	30	6.718.000	528.000	Rio da Ilha
018615-05.00/04-5	Ofício 310/06	Em Análise	Irrigação	0,021	16	6.705.037	550.127	Sanga dos Portal
018482-05.00/04-3	Ofício 308/06	Em Análise	Irrigação	0,030	20	6.704.619	547.253	Rio dos Sinos
010289-05.00/05-6	Ofício 306/06	Em Análise	Irrigação	0,060	35,8	6.713.500	532.500	Rio dos Sinos
014452-05.00/04-9	Ofício 1591/07	Em Análise	Abast. Público	0,060	x	6.706.426	546.724	Rio dos Sinos
000260-05.00/06-0	Ofício 565/06	Em Análise	Abast. Público	0,002		6.722.200	559.950	Rio Rolante
001253-05.00/07-1	Ofício 145/07	Indeferido	Irrigação	0,020	50	6.708.131	539.813	Rio dos Sinos
013244-05.00/06-5	Ofício 31/07	Indeferido	Irrigação	0,004	19,5	6.720.142	532.379	Rio Açoita Cavallo
013245-05.00/06-8	Ofício 30/07	Indeferido	Irrigação	0,003	19,9	6.721.376	533.294	Rio Açoita Cavallo
007656-05.00/07-6	Ofício 541/07 gab	Indeferido	Irrigação	0,028	19,9	6.720.142	532.379	Rio Açoita Cavallo
007657-05.00/07-9	Ofício 540/07 gab	Indeferido	Irrigação	0,020	19,9	6.721.376	533.294	Rio Açoita Cavallo
001254-05.00/07-4	Ofício 141/07 Gab	Indeferido	Irrigação	0,180	35	6.705.352	545.083	Rio dos Sinos
006704-05.00/07-2	Ofício 527/07 Gab	Indeferido	Irrigação	0,015	9	6.716.716	530.091	Rio Rolante
006705-05.00/07-5	Ofício 526/07 Gab	Indeferido	Irrigação	0,035	22,9	6.715.285	530.463	Rio Rolante
009670-05.00/06-0	Ofício 369/06	Indeferido	Irrigação	0,064	50	6.711.700	535.087	Rio dos Sinos
001252-05.00/07-9	Ofício 131/07	Indeferido	Irrigação	0,018	45	6.712.175	530.186	Rio dos Sinos
007550-05.00/06-3	Ofício 367/06	Indeferido	Irrigação	0,025	18	6.705.994	549.433	Sanga dos Mateus
008073-05.00/06-1	Ofício 366/06	Indeferido	Irrigação	0,016	10,5	6.721.535	533.527	Arroio Açoita Cavallo

ANEXO 2 – LISTAGEM DAS EQUAÇÕES DE RESTRIÇÃO  
UTILIZADAS PARA A MONTAGEM DO PROBLEMA DE  
OTIMIZAÇÃO

Dada a função objetivo:

$$Max \sum_{i=1}^{14} \sum_{j=1}^{12} (0,6067D_{ij} + 913,68) * A_i$$

As áreas serão dadas por:

Observação: o ponto de demanda D11 foi renomeado para D0 para evitar dupla nomeação de variáveis com o ponto de demanda D1.

$$A_1 = 179$$

$$A_2 = 140$$

$$A_3 = 222$$

$$A_4 = 153$$

$$A_5 = 222$$

$$A_6 = 334$$

$$A_7 = 680$$

$$A_8 = 118$$

$$A_9 = 64$$

$$A_{10} = 97$$

$$A_{11} = 448$$

$$A_{12} = 276$$

$$A_{13} = 170$$

$$A_{14} = 29$$

As equações de restrição seguem abaixo:

Restrição de balanço de massa:

$$Q_{21} = Q_{11} - D_{11} * A_1$$

$$Q_{22} = Q_{12} - D_{12} * A_1$$

$$Q_{23} = Q_{13}$$

$$Q_{24} = Q_{14}$$

$$Q_{25} = Q_{15}$$

$$Q_{26} = Q_{16}$$

$$Q_{27} = Q_{17}$$

$$Q_{28} = Q_{18}$$

$$Q_{29} = Q_{19}$$

$$Q_{210} = Q_{110}$$

$$Q_{211} = Q_{111} - D_{111} * A_1$$

$$Q_{212} = Q_{112} - D_{112} * A_1$$

$$Q_{41} = Q_{31} - D_{11} * A_1 - D_2 * A_{21}$$

$$Q_{42} = Q_{32} - D_{12} * A_1 - D_2 * A_{22}$$

$$Q_{43} = Q_{33}$$

$$Q_{44} = Q_{34}$$

$$Q_{45} = Q_{35}$$

$$Q_{46} = Q_{36}$$

$$Q_{47} = Q_{37}$$

$$Q_{48} = Q_{38}$$

$$Q_{49} = Q_{39}$$

$$Q_{410} = Q_{310}$$

$$Q_{411} = Q_{311} - D_{111} * A_1 - D_{211} * A_2$$

$$Q_{412} = Q_{312} - D_{112} * A_1 - D_{212} * A_2$$

$$Q_{71} = Q_{61} - D_{11} * A_1 - D_2 * A_{21} - D_{31} * A_3$$

$$Q_{72} = Q_{62} - D_{12} * A_1 - D_2 * A_{22} - D_{32} * A_3$$

$$Q_{73} = Q_{63}$$

$$Q_{74} = Q_{64}$$

$$Q_{75} = Q_{65}$$

$$Q_{76} = Q_{66}$$

$$Q_{77} = Q_{67}$$

$$Q_{78} = Q_{68}$$

$$Q_{79} = Q_{69}$$

$$Q_{710} = Q_{610}$$

$$Q711 = Q611 - D111 * A1 - D211 * A2 - D311 * A3$$

$$Q712 = Q612 - D112 * A1 - D212 * A2 - D312 * A3$$

$$Q91 = Q81 - D11 * A1 - D2 * A21 - D31 * A3 - D41 * A4$$

$$Q92 = Q82 - D12 * A1 - D2 * A22 - D32 * A3 - D42 * A4$$

$$Q93 = Q83$$

$$Q94 = Q84$$

$$Q95 = Q85$$

$$Q96 = Q86$$

$$Q97 = Q87$$

$$Q98 = Q88$$

$$Q99 = Q89$$

$$Q910 = Q810$$

$$Q911 = Q811 - D111 * A1 - D211 * A2 - D311 * A3 - D411 * A4$$

$$Q912 = Q812 - D112 * A1 - D212 * A2 - D312 * A3 - D412 * A4$$

$$Q111 = Q101 - D11 * A1 - D2 * A21 - D31 * A3 - D41 * A4 - D51 * A5$$

$$Q112 = Q102 - D12 * A1 - D2 * A22 - D32 * A3 - D42 * A4 - D52 * A5$$

$$Q113 = Q103$$

$$Q114 = Q104$$

$$Q115 = Q105$$

$$Q116 = Q106$$

$$Q117 = Q107$$

$$Q118 = Q108$$

$$Q119 = Q109$$

$$Q1110 = Q1010$$

$$Q1111 = Q1011 - D111 * A1 - D211 * A2 - D311 * A3 - D411 * A4 - D511 * A5$$

$$Q1112 = Q1012 - D112 * A1 - D212 * A2 - D312 * A3 - D412 * A4 - D512 * A5$$

$$Q131 = Q121 - D11 * A1 - D2 * A21 - D31 * A3 - D41 * A4 - D51 * A5 - D61 * A6$$

$$Q132 = Q122 - D12 * A1 - D2 * A22 - D32 * A3 - D42 * A4 - D52 * A5 - D62 * A6$$

$$Q133 = Q123$$

$$Q134 = Q124$$

$$Q135 = Q125$$

$$Q136 = Q126$$

$$Q137 = Q127$$

$$Q138 = Q128$$

$$Q139 = Q129$$

$$Q1310 = Q1210$$

$$Q1311 = Q1211 - D111 * A1 - D211 * A2 - D311 * A3 - D411 * A4 - D511 * A5 - D611 * A6$$

$$Q1312 = Q1212 - D112 * A1 - D212 * A2 - D312 * A3 - D412 * A4 - D512 * A5 - D612 * A6$$

$$Q151 = Q141 - D11 * A1 - D2 * A21 - D31 * A3 - D41 * A4 - D51 * A5 - D61 * A6 - D71 * A7$$

$$Q152 = Q142 - D12 * A1 - D2 * A22 - D32 * A3 - D42 * A4 - D52 * A5 - D62 * A6 - D72 * A7$$

$$Q153 = Q143$$

$$Q154 = Q144$$

$$Q155 = Q145$$

$$Q156 = Q146$$

$$Q157 = Q147$$

$$Q158 = Q148$$

$$Q159 = Q149$$

$$Q1510 = Q1410$$

$$Q1511 = Q1411 - D111 * A1 - D211 * A2 - D311 * A3 - D411 * A4 - D511 * A5 - D611 * A6 - D711 * A7$$

$$Q1512 = Q1412 - D112 * A1 - D212 * A2 - D312 * A3 - D412 * A4 - D512 * A5 - D612 * A6 - D712 * A7$$

$$Q181 = Q171 - D11 * A1 - D2 * A21 - D31 * A3 - D41 * A4 - D51 * A5 - D61 * A6 - D71 * A7 - D81 * A8$$

$$Q182 = Q172 - D12 * A1 - D2 * A22 - D32 * A3 - D42 * A4 - D52 * A5 - D62 * A6 - D72 * A7 - D81 * A8$$

$$Q183 = Q173$$

$$Q184 = Q174$$

$$Q185 = Q175$$

$$Q186 = Q176$$

$$Q187 = Q177$$

$$Q188 = Q178$$

$$Q189 = Q179$$

$$Q1810 = Q1710$$

$$Q1811 = Q1711 - D111*A1 - D211*A2 - D311*A3 - D411*A4 - D511*A5 - D611*A6 - D711*A7 - D811*A8$$

$$Q1812 = Q1712 - D12*A1 - D2*A22 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D712*A7 - D812*A8$$

$$Q201 = Q191 - D11*A1 - D2*A21 - D31*A3 - D41*A4 - D51*A5 - D61*A6 - D71*A7 - D81*A8 - D101*A10$$

$$Q202 = Q192 - D12*A1 - D2*A22 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D81*A8 - D102*A10$$

$$Q203 = Q193$$

$$Q204 = Q194$$

$$Q205 = Q195$$

$$Q206 = Q196$$

$$Q207 = Q197$$

$$Q208 = Q198$$

$$Q209 = Q199$$

$$Q2010 = Q1910$$

$$Q2011 = Q1911 - D111*A1 - D211*A2 - D311*A3 - D411*A4 - D511*A5 - D611*A6 - D711*A7 - D811*A8 - D1011*A10$$

$$Q2012 = Q1912 - D12*A1 - D2*A22 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D712*A7 - D812*A8 - D1012*A10$$

$$Q221 = Q211 - D11*A1 - D2*A21 - D31*A3 - D41*A4 - D51*A5 - D61*A6 - D71*A7 - D81*A8 - D101*A10 - D91*A9$$

$$Q222 = Q212 - D92*A9 - D12*A1 - D2*A22 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D81*A8 - D102*A10$$

$$Q223 = Q213$$

$$Q224 = Q214$$

$$Q225 = Q215$$

$$Q226 = Q216$$

$$Q227 = Q217$$

$$Q228 = Q218$$

$$Q229 = Q219$$

$$Q2210 = Q2110$$

$$Q2211 = Q2111 - D911*A9 - D111*A1 - D211*A2 - D311*A3 - D411*A4 - D511*A5 - D611*A6 - D711*A7 - D811*A8 - D1011*A10$$

$$Q2212 = Q2112 - D912*A9 - D12*A1 - D2*A22 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D712*A7 - D812*A8 - D1012*A10$$

$$Q251 = Q241 + Q161 - D01*A11 - D11*A1 - D2*A21 - D31*A3 - D41*A4 - D51*A5 - D61*A6 - D71*A7 - D81*A8 - D101*A10 - D91*A9$$

$$Q252 = Q242 + Q162 - D02*A11 - D92*A9 - D12*A1 - D2*A22 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D81*A8 - D102*A10$$

$$Q253 = Q243 + Q163$$

$$Q254 = Q244 + Q164$$

$$Q255 = Q245 + Q165$$

$$Q256 = Q246 + Q166$$

$$Q257 = Q247 + Q167$$

$$Q258 = Q248 + Q168$$

$$Q259 = Q249 + Q169$$

$$Q2510 = Q2410 + Q1610$$

$$Q2511 = Q2411 + Q1611 - D011*A11 - D911*A9 - D111*A1 - D211*A2 - D311*A3 - D411*A4 - D511*A5 - D611*A6 - D711*A7 - D811*A8 - D1011*A10$$

$$Q2512 = Q2412 + Q1612 - D012*A11 - D912*A9 - D12*A1 - D2*A22 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D712*A7 - D812*A8 - D1012*A10$$

$$Q271 = Q261 - D121*A12 - D01*A11 - D11*A1 - D2*A21 - D31*A3 - D41*A4 - D51*A5 - D61*A6 - D71*A7 - D81*A8 - D101*A10 - D91*A9$$

$$Q272 = Q262 - D122*A12 - D02*A11 - D92*A9 - D12*A1 - D2*A22 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D81*A8 - D102*A10$$

$$Q273 = Q263$$

$$Q274 = Q264$$

$$Q275 = Q265$$

$$Q276 = Q266$$

$$Q277 = Q267$$

$$Q278 = Q268$$

$$Q279 = Q269$$

$$Q2710 = Q2610$$

$$Q2711 = Q2611 - D1211*A12 - D011*A11 - D911*A9 - D111*A1 - D211*A2 - D311*A3 - D411*A4 - D511*A5 - D611*A6 - D711*A7 - D811*A8 - D1011*A10$$

$$Q2712 = Q2612 - D1212*A12 - D012*A11 - D912*A9 - D12*A1 - D2*A2 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D712*A7 - D812*A8 - D1012*A10$$

$$Q291 = Q301 + Q311 - D131*A13 - D121*A12 - D01*A11 - D11*A1 - D2*A2 - D31*A3 - D41*A4 - D51*A5 - D61*A6 - D71*A7 - D81*A8 - D101*A10 - D91*A9$$

$$Q292 = Q302 + Q312 - D132*A13 - D122*A12 - D02*A11 - D92*A9 - D12*A1 - D2*A2 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D81*A8 - D102*A10$$

$$Q293 = Q303 + Q313$$

$$Q294 = Q304 + Q314$$

$$Q295 = Q305 + Q315$$

$$Q296 = Q306 + Q316$$

$$Q297 = Q307 + Q317$$

$$Q298 = Q308 + Q318$$

$$Q299 = Q309 + Q319$$

$$Q2910 = Q3010 + Q3110$$

$$Q2911 = Q3011 + Q3111 - D1311*A13 - D1211*A12 - D011*A11 - D911*A9 - D111*A1 - D211*A2 - D311*A3 - D411*A4 - D511*A5 - D611*A6 - D711*A7 - D811*A8 - D1011*A10$$

$$Q2912 = Q3012 + Q3112 - D1312*A13 - D1212*A12 - D012*A11 - D912*A9 - D12*A1 - D2*A2 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D712*A7 - D812*A8 - D1012*A10$$

$$Q321 = Q331 - D141*A14 - D131*A13 - D121*A12 - D01*A11 - D11*A1 - D2*A2 - D31*A3 - D41*A4 - D51*A5 - D61*A6 - D71*A7 - D81*A8 - D101*A10 - D91*A9$$

$$Q322 = Q332 - D142*A14 - D132*A13 - D122*A12 - D02*A11 - D92*A9 - D12*A1 - D2*A2 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D81*A8 - D102*A10$$

$$Q323 = Q333$$

$$Q324 = Q334$$

$$Q325 = Q335$$

$$Q326 = Q336$$

$$Q327 = Q337$$

$$Q328 = Q338$$

$$Q329 = Q339$$

$$Q3210 = Q3310$$

$$Q3211 = Q3311 - D1411*A14 - D1311*A13 - D1211*A12 - D011*A11 - D911*A9 - D111*A1 - D211*A2 - D311*A3 - D411*A4 - D511*A5 - D611*A6 - D711*A7 - D811*A8 - D1011*A10$$

$$Q3212 = Q3312 - D1412*A14 - D1312*A13 - D1212*A12 - D012*A11 - D912*A9 - D12*A1 - D2*A2 - D32*A3 - D42*A4 - D52*A5 - D62*A6 - D72*A7 - D712*A7 - D812*A8 - D1012*A10$$

Restrição de valores máximos e mínimos de demanda:

$$Di1 \geq 2082$$

$$Di1 \leq 3502$$

$$Di2 \geq 202$$

$$Di2 \leq 339$$

$$Di11 \geq 1008$$

$$Di11 \leq 1695$$

$$Di12 \geq 2082$$

$$Di12 \leq 3502$$

Os valores de restrição de valores máximos e mínimos de valores de vazão são dados pela tabela no anexo 03.-O formato de inserção no modelo de otimização é o seguinte:

$Qzj < =$  valor da tabela no anexo 03 para o mês j e o ponto de controle z.

**ANEXO 3 – TABELA COM VALORES DE VAZÃO  
UTILIZADOS PARA OS CENÁRIOS**



Ponto e mês	Cenário (vazões em m <sup>3</sup> /mês)				
	0,1*Q90	Qmáx	Qméd	Q75	
Q11	=	43941	17385297	7096904	2202197
Q12	=	43575	17820251	7112760	2177071
Q13	=	44323	18088648	7080774	2073851
Q14	=	44323	18351109	7056283	2029745
Q15	=	47488	18416913	6984300	1956793
Q16	=	42592	18210221	6880088	1886474
Q17	=	41058	17330781	6670850	1763187
Q18	=	40028	17046079	6521153	1671087
Q19	=	39164	17021998	6370999	1637433
Q110	=	38428	16992149	6290222	1615569
Q111	=	37693	17026179	6234665	1519790
Q112	=	36990	17485966	6251448	1477942

Q21	=	338049	18578453	7581159	2327783
Q22	=	318507	19092087	7599850	2300902
Q23	=	320800	19380635	7571194	2200692
Q24	=	317497	19660654	7543039	2144546
Q25	=	350355	19758816	7472029	2071761
Q26	=	297942	19543931	7359494	1997763
Q27	=	288253	18666497	7146547	1875772
Q28	=	277898	18280707	6979998	1771256
Q29	=	268640	18250606	6821331	1730829
Q210	=	260812	18222847	6728003	1707334
Q211	=	253487	18251944	6667931	1615903
Q212	=	246395	18709223	6678345	1564481

Q31	=	109982	53976477	21562795	5972553
Q32	=	106496	55474068	21613639	5877945
Q33	=	108837	56209861	21564269	5661095
Q34	=	108670	56896574	21459115	5468284
Q35	=	117543	57261544	21277204	5287805
Q36	=	104372	56911123	20981168	5059877
Q37	=	100992	55045217	20493561	4769029
Q38	=	97957	53310835	19960148	4462755
Q39	=	95647	52707066	19471666	4329058
Q310	=	93646	52167010	19104925	4250002
Q311	=	91792	51919850	18890884	4055435
Q312	=	90009	52512164	18825058	3877256

Q41	=	109982	53976477	21562795	5972553
Q42	=	106496	55474068	21613639	5877945
Q43	=	108837	56209861	21564269	5661095
Q44	=	108670	56896574	21459115	5468284
Q45	=	117543	57261544	21277204	5287805

Q46	=	104372	56911123	20981168	5059877
Q47	=	100992	55045217	20493561	4769029
Q48	=	97957	53310835	19960148	4462755
Q49	=	95647	52707066	19471666	4329058
Q410	=	93646	52167010	19104925	4250002
Q411	=	91792	51919850	18890884	4055435
Q412	=	90009	52512164	18825058	3877256

Q51	=	127432	60627131	24298145	6737235
Q52	=	122840	62367533	24354341	6630587
Q53	=	125856	63222392	24310353	6397850
Q54	=	126168	64010945	24194830	6166619
Q55	=	136523	64484027	23999906	5968414
Q56	=	121671	64039624	23651802	5719123
Q57	=	117823	61993366	23108493	5414437
Q58	=	114278	59980469	22514188	5056198
Q59	=	111698	59393590	21977933	4895410
Q510	=	109476	58853450	21562833	4806321
Q511	=	107413	58609886	21326467	4605106
Q512	=	105409	59341499	21250767	4400965

Q61	=	15400	6837529	2688383	753812
Q62	=	15055	6941209	2689964	739682
Q63	=	15305	7032765	2681983	701178
Q64	=	15433	7122482	2674131	683828
Q65	=	16806	7166127	2645854	648167
Q66	=	14923	6997146	2589446	631905
Q67	=	14327	6524817	2494675	600382
Q68	=	13984	6473144	2454632	565223
Q69	=	13704	6492458	2396703	549964
Q610	=	13470	6500067	2371133	538383
Q611	=	13225	6649316	2351879	509119
Q612	=	12989	6737361	2359313	500925

Q71	=	15400	6837529	2688383	753812
Q72	=	15055	6941209	2689964	739682
Q73	=	15305	7032765	2681983	701178
Q74	=	15433	7122482	2674131	683828
Q75	=	16806	7166127	2645854	648167
Q76	=	14923	6997146	2589446	631905
Q77	=	14327	6524817	2494675	600382
Q78	=	13984	6473144	2454632	565223
Q79	=	13704	6492458	2396703	549964
Q710	=	13470	6500067	2371133	538383
Q711	=	13225	6649316	2351879	509119
Q712	=	12989	6737361	2359313	500925

Q81	=	147289	69790018	27870157	7703508
Q82	=	142108	71693048	27928200	7579259
Q83	=	145520	72675332	27875721	7301162
Q84	=	146078	73585124	27748842	7043551
Q85	=	158212	74127939	27519507	6802746
Q86	=	141001	73477096	27097726	6531338
Q87	=	136419	70860598	26436462	6189403
Q88	=	132401	68726044	25783460	5782710
Q89	=	129468	68159483	25172394	5599891
Q810	=	126954	67622688	24717396	5496461
Q811	=	124587	67392920	24453757	5261718
Q812	=	122288	68384820	24382511	5043698

Q91	=	147289	69790018	27870157	7703508
Q92	=	142108	71693048	27928200	7579259
Q93	=	145520	72675332	27875721	7301162
Q94	=	146078	73585124	27748842	7043551
Q95	=	158212	74127939	27519507	6802746
Q96	=	141001	73477096	27097726	6531338
Q97	=	136419	70860598	26436462	6189403
Q98	=	132401	68726044	25783460	5782710
Q99	=	129468	68159483	25172394	5599891
Q910	=	126954	67622688	24717396	5496461
Q911	=	124587	67392920	24453757	5261718
Q912	=	122288	68384820	24382511	5043698

Q101	=	149193	70059001	28048496	7762287
Q102	=	142976	72072483	28110415	7636743
Q103	=	146354	73091892	28074036	7383897
Q104	=	147167	74010045	27944344	7099279
Q105	=	159809	74621088	27733997	6876409
Q106	=	142330	74081116	27320060	6593212
Q107	=	137997	71729085	26695145	6270299
Q108	=	133716	69277805	26004913	5849182
Q109	=	130737	68680558	25402497	5645710
Q1010	=	128164	68133396	24911955	5539982
Q1011	=	125796	67871520	24639833	5328358
Q1012	=	123471	68709405	24540775	5085546

Q111	=	168967	75886151	30584733	8625423
Q112	=	161459	78143282	30657690	8492897
Q113	=	164768	79336521	30631465	8240302
Q114	=	166051	80362786	30493018	7912414
Q115	=	180541	81086456	30283218	7678675
Q116	=	160980	80660782	29852915	7359859

Q117	=	156433	78354739	29199458	7016753
Q118	=	151333	75452284	28416453	6554666
Q119	=	147968	74813481	27783549	6307925
Q1110	=	145043	74281034	27226596	6191117
Q1111	=	142380	74005363	26924434	5977905
Q1112	=	139749	74800270	26799631	5694331

Q121	=	188399	81453767	32948622	9472255
Q122	=	179329	83899863	33043021	9337722
Q123	=	181731	85352470	33034584	9103480
Q124	=	183723	86483167	32893939	8736127
Q125	=	200228	87343878	32693428	8486919
Q126	=	178633	87151150	32270028	8135619
Q127	=	174093	85026212	31605069	7774662
Q128	=	168056	81641311	30729338	7284482
Q129	=	164195	80797322	30064524	6974236
Q1210	=	160880	80275243	29430670	6839076
Q1211	=	157926	79935190	29081792	6635478
Q1212	=	154993	80533607	28913395	6310935

Q131	=	192349	82314562	33348201	9644205
Q132	=	183256	84781059	33444903	9509212
Q133	=	185564	86263683	33435675	9272462
Q134	=	187565	87412274	33293533	8902642
Q135	=	204392	88281931	33090156	8644738
Q136	=	182358	88109856	32666421	8288338
Q137	=	177742	85962927	31991255	7918267
Q138	=	171540	82546504	31104068	7424700
Q139	=	167592	81690559	30433964	7108853
Q1310	=	164199	81175085	29794979	6971017
Q1311	=	161174	80838209	29441783	6763824
Q1312	=	158171	81440556	29274086	6435811

Q141	=	202851	84071938	34110978	10051609
Q142	=	192487	86165856	34241643	9920964
Q143	=	193148	87917128	34255758	9718411
Q144	=	195780	89117642	34125421	9338014
Q145	=	213995	90099425	33939830	9064893
Q146	=	191005	90233540	33556845	8698585
Q147	=	186634	88473154	32916720	8325880
Q148	=	179929	84854388	31998240	7835198
Q149	=	175455	83611231	31304952	7457811
Q1410	=	171781	83112480	30621402	7296564
Q1411	=	168553	82710553	30220668	7112406
Q1412	=	165361	83026275	30008162	6769551

Q151	=	232180	88497151	36156583	11257265
Q152	=	221254	90072167	36341892	11136152
Q153	=	220094	92151202	36367790	10949151
Q154	=	222586	93469359	36242986	10580460
Q155	=	243665	94555575	36046754	10227029
Q156	=	217402	94980077	35700102	9833421
Q157	=	212659	93431734	35047435	9399930
Q158	=	204845	89782114	34089300	8902684
Q159	=	199158	88008935	33329099	8464260
Q1510	=	194812	87522308	32623322	8257443
Q1511	=	190945	87100397	32162805	8067934
Q1512	=	187182	87239111	31933280	7718558

Q161	=	252722	92055800	37758249	12127174
Q162	=	241599	93409075	37979839	12012624
Q163	=	239490	95682175	38008282	11826627
Q164	=	241627	97098661	37885888	11471147
Q165	=	264652	98247670	37677259	11068300
Q166	=	236014	98807960	37342100	10652660
Q167	=	230845	97327008	36669161	10167705
Q168	=	222417	93717606	35688245	9660259
Q169	=	215859	91613487	34872677	9192277
Q1610	=	211037	91118248	34156852	8954733
Q1611	=	206704	90697675	33658807	8751679
Q1612	=	202531	90783546	33424053	8398916

Q171	=	17012	4061330	1721080	878688
Q172	=	17233	4115093	1724744	854858
Q173	=	16835	4187669	1708440	824674
Q174	=	16284	4258907	1696924	827475
Q175	=	17968	4270362	1679312	786672
Q176	=	15146	4292519	1665067	728143
Q177	=	14628	4078387	1601810	672540
Q178	=	13878	3994356	1558560	669279
Q179	=	13430	4000710	1533734	650341
Q1710	=	13012	4006647	1520911	670241
Q1711	=	12613	4014172	1515514	664639
Q1712	=	12239	4053554	1530139	636587

Q181	=	21530	4972376	2115209	1086257
Q182	=	21815	5025554	2120317	1059835
Q183	=	21348	5115103	2101147	1023297
Q184	=	20665	5203147	2086742	1024760
Q185	=	22780	5219870	2065056	974508
Q186	=	19246	5248298	2047855	903772
Q187	=	18600	4990185	1970847	834415

Q188	=	17640	4884499	1916955	829231
Q189	=	17078	4891271	1886680	805987
Q1810	=	16553	4899967	1871249	831739
Q1811	=	16054	4911004	1864758	828311
Q1812	=	15585	4959917	1883426	794782

Q191	=	323952	114878778	47644943	17794456
Q192	=	306090	118862347	47830579	17624638
Q193	=	309303	120937703	47711088	17353273
Q194	=	304959	122344407	47360887	16935083
Q195	=	336304	123310972	46946160	16565096
Q196	=	285835	123165987	46403915	15891218
Q197	=	276437	121337373	45613963	14977496
Q198	=	266516	117123868	44282648	13978907
Q199	=	257770	115136640	43200096	13467489
Q1910	=	250283	114234540	42390541	13194074
Q1911	=	243274	113584534	41907334	12806278
Q1912	=	236438	113480268	41689895	12225335

Q201	=	46914	116444764	48601680	18356628
Q202	=	46202	120676246	48836146	18179201
Q203	=	47097	122961721	48742332	17924809
Q204	=	47222	124455131	48402088	17501393
Q205	=	50682	125514674	47987406	17123212
Q206	=	45506	125505727	47447351	16457988
Q207	=	43943	123879122	46679982	15545060
Q208	=	42785	119692205	45358548	14510601
Q209	=	41878	117400209	44217034	13937142
Q2010	=	41102	116467674	43370469	13644246
Q2011	=	40339	115805042	42850845	13269869
Q2012	=	39599	115637481	42606513	12683283

Q211	=	343374	116505216	48816877	18520258
Q212	=	322393	120891382	49091697	18336435
Q213	=	323829	123346424	49025111	18101274
Q214	=	321592	124893597	48699575	17678611
Q215	=	355171	126020114	48289667	17302143
Q216	=	302089	126125549	47758238	16661460
Q217	=	292315	124718846	47025850	15770021
Q218	=	281884	120634439	45735407	14715453
Q219	=	272342	118062005	44550445	14090488
Q2110	=	264369	117088082	43676857	13782709
Q2111	=	256924	116405299	43125088	13428274
Q2112	=	249754	116168758	42853088	12848628

Q221	=	376463	122721835	51419017	19997405
------	---	--------	-----------	----------	----------

Q222	=	352771	126461339	51779449	19806893
Q223	=	351914	129387038	51754434	19587535
Q224	=	350944	131147926	51447361	19173651
Q225	=	388457	132428290	51023946	18754834
Q226	=	330238	132797608	50494395	18115112
Q227	=	319573	131574017	49752247	17178940
Q228	=	308063	127661017	48477819	16068895
Q229	=	297279	124511904	47174438	15327374
Q2210	=	288423	123425940	46228130	14967420
Q2211	=	280201	122711384	45600136	14609808
Q2212	=	272371	122392066	45289834	14016282

Q231	=	376463	122721835	51419017	19997405
Q232	=	352771	126461339	51779449	19806893
Q233	=	351914	129387038	51754434	19587535
Q234	=	350944	131147926	51447361	19173651
Q235	=	388457	132428290	51023946	18754834
Q236	=	330238	132797608	50494395	18115112
Q237	=	319573	131574017	49752247	17178940
Q238	=	308063	127661017	48477819	16068895
Q239	=	297279	124511904	47174438	15327374
Q2310	=	288423	123425940	46228130	14967420
Q2311	=	280201	122711384	45600136	14609808
Q2312	=	272371	122392066	45289834	14016282

Q241	=	12596	1067151	627758	456861
Q242	=	12575	1099426	632782	455063
Q243	=	12582	1123256	632570	449837
Q244	=	12504	1142236	629719	446367
Q245	=	13056	1149176	624573	433198
Q246	=	12226	1154193	620225	419026
Q247	=	12074	1109042	605471	397245
Q248	=	11806	1067988	590185	384452
Q249	=	11597	1047837	579878	375673
Q2410	=	11407	1040813	574542	368315
Q2411	=	11225	1042318	572589	359494
Q2412	=	11049	1052770	577416	351174

Q251	=	645578	215821124	89761294	32646658
Q252	=	608809	220391155	90413171	32335743
Q253	=	604231	225914790	90465034	31953298
Q254	=	606217	229212232	90069370	31205088
Q255	=	668218	231744867	89444348	30372638
Q256	=	580696	232881835	88606220	29339182
Q257	=	564667	230618434	87252010	27933315
Q258	=	544943	223416102	85055294	26294377

Q259	=	526711	217546811	82853409	25009121
Q2510	=	512666	215823298	81155961	24362835
Q2511	=	499817	214647032	79960479	23817972
Q2512	=	487601	214276209	79365497	22894634

Q261	=	656490	216802489	90223180	33029480
Q262	=	618190	220852949	90935782	32714343
Q263	=	611791	226687624	91034278	32355309
Q264	=	614137	230127794	90670972	31639164
Q265	=	677904	232759342	90050139	30779958
Q266	=	589429	234097316	89240211	29772799
Q267	=	573164	232219956	87934968	28381773
Q268	=	553492	225397644	85803827	26737525
Q269	=	534418	218971658	83531905	25386466
Q2610	=	520001	217073060	81806097	24685037
Q2611	=	506870	215865021	80543876	24153259
Q2612	=	494455	215370701	79904762	23261277

Q271	=	664428	217301073	90463787	33282994
Q272	=	624632	220811811	91229659	32959078
Q273	=	616378	226945403	91381234	32618648
Q274	=	618855	230550791	91057363	31940296
Q275	=	684196	233272893	90445772	31068465
Q276	=	595376	234801170	89663277	30086138
Q277	=	578927	233339114	88416267	28721701
Q278	=	559590	226970654	86363806	27079126
Q279	=	539744	220035883	84031241	25668033
Q2710	=	524985	217892717	82272292	24906612
Q2711	=	511634	216651484	80942968	24382610
Q2712	=	499079	216042866	80251566	23528796

Q281	=	828453	256095871	106542875	41908125
Q282	=	777006	257791290	107485831	41516189
Q283	=	763681	265467707	107824828	41166353
Q284	=	758591	270535819	107514473	40529014
Q285	=	846359	274026324	106828223	39576495
Q286	=	730892	276164473	105976185	38352946
Q287	=	709347	275805857	104686008	36593563
Q288	=	686468	269960145	102441761	34529203
Q289	=	659860	261579372	99710272	32852555
Q2810	=	639578	257862026	97551129	31721021
Q2811	=	621932	256461176	95890645	30991666
Q2812	=	605554	255533407	94956681	29993328

Q291	=	135849	37629736	15456750	7568849
Q292	=	129155	38124975	15536440	7493347



Q293	=	130520	38781337	15473693	7199322
Q294	=	125428	39360440	15317648	7046561
Q295	=	141369	39759942	15171402	6955130
Q296	=	114924	39781514	15023726	6577576
Q297	=	110269	39316877	14742407	6031668
Q298	=	105239	37987516	14251386	5759800
Q299	=	100465	37521792	13934311	5677107
Q2910	=	96757	37493865	13729847	5600016
Q2911	=	93281	37479317	13620633	5743705
Q2912	=	90039	37491608	13619554	5573762

Q301	=	128664	36634241	15003431	7299992
Q302	=	123285	37218612	15065525	7183853
Q303	=	123701	37836009	14986602	6902245
Q304	=	118651	38400647	14837437	6786232
Q305	=	133739	38713527	14693615	6674275
Q306	=	108571	38754999	14552522	6274981
Q307	=	104123	38127400	14239262	5764065
Q308	=	99265	36921953	13779832	5541278
Q309	=	94842	36538504	13483630	5447757
Q3010	=	91314	36511581	13293851	5390148
Q3011	=	88005	36484239	13194542	5556914
Q3012	=	84934	36504808	13204750	5326811

Q311	=	125285	36191093	14806606	7180049
Q312	=	120996	36836668	14855649	7035022
Q313	=	120551	37432744	14763029	6761232
Q314	=	115524	37993703	14618454	6674902
Q315	=	130139	38237937	14474397	6537484
Q316	=	105668	38303155	14337735	6116827
Q317	=	101333	37519284	13991722	5630075
Q318	=	96493	36413419	13555248	5445207
Q319	=	92304	36093098	13273290	5338767
Q3110	=	88862	36066760	13094609	5302312
Q3111	=	85634	36031977	13002719	5488476
Q3112	=	82651	36064586	13024542	5201057

Q321	=	19079	3428965	1538622	888596
Q322	=	19411	3351122	1542719	866021
Q323	=	18980	3397276	1526977	841940
Q324	=	18370	3461073	1514427	847709
Q325	=	20280	3477962	1499195	806196
Q326	=	17139	3515421	1488918	743653
Q327	=	16595	3348697	1433460	692148
Q328	=	15746	3273529	1395826	688970
Q329	=	15230	3288830	1377773	671830

Q3210	=	14737	3316422	1370887	692064
Q3211	=	14264	3340419	1371936	696203
Q3212	=	13817	3376289	1389479	666060

Q331	=	19079	3428965	1538622	888596
Q332	=	19411	3351122	1542719	866021
Q333	=	18980	3397276	1526977	841940
Q334	=	18370	3461073	1514427	847709
Q335	=	20280	3477962	1499195	806196
Q336	=	17139	3515421	1488918	743653
Q337	=	16595	3348697	1433460	692148
Q338	=	15746	3273529	1395826	688970
Q339	=	15230	3288830	1377773	671830
Q3310	=	14737	3316422	1370887	692064
Q3311	=	14264	3340419	1371936	696203
Q3312	=	13817	3376289	1389479	666060

ANEXO 4 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO  
DE VAZÃO MÁXIMA

## OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.7330662E+08

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
D11	891.039124	0.000000
D12	1061.000000	0.000000
D111	692.000000	0.000000
D112	1430.000000	0.000000
D21	1430.000000	0.000000
D22	1061.000000	0.000000
D211	1676.000000	0.000000
D212	3464.000000	0.000000
D31	1430.000000	0.000000
D32	1061.000000	0.000000
D311	1676.000000	0.000000
D312	1430.000000	0.000000
D41	1430.000000	0.000000
D42	1061.000000	0.000000
D411	692.000000	0.000000
D412	3464.000000	0.000000
D51	1430.000000	0.000000
D52	1061.000000	0.000000
D511	1676.000000	0.000000
D512	3742.463867	0.000000
D61	1430.000000	0.000000
D62	1061.000000	0.000000
D611	1676.000000	0.000000
D612	1430.000000	0.000000
D72	1061.000000	0.000000
D711	1067.733765	0.000000
D712	1430.000000	0.000000
D81	1430.000000	0.000000
D82	1061.000000	0.000000
D811	692.000000	0.000000
D812	1430.000000	0.000000
D91	1430.000000	0.000000
D92	1061.000000	0.000000
D911	692.000000	0.000000
D912	1352053.000000	0.000000
D101	1430.000000	0.000000
D102	1061.000000	0.000000
D1011	692.000000	0.000000
D1012	1430.000000	0.000000
D01	1430.000000	0.000000
D02	104.100449	0.000000
D011	692.000000	0.000000
D012	1430.000000	0.000000
D121	1430.000000	0.000000

D122	1061.000000	0.000000
D1211	692.000000	0.000000
D1212	1430.000000	0.000000
D131	1430.000000	0.000000
D132	2570.000000	0.000000
D1311	692.000000	0.000000
D1312	1430.000000	0.000000
D141	1430.000000	0.000000
D142	2570.000000	0.000000
D1411	692.000000	0.000000
D1412	1430.000000	0.000000
D	1.000000	0.000000
Q21	338049.000000	0.000000
Q11	497545.000000	0.000000
Q22	318507.000000	0.000000
Q12	508426.000000	0.000000
Q23	320800.000000	0.000000
Q13	320800.000000	0.000000
Q24	317497.000000	0.000000
Q14	317497.000000	0.000000
Q25	350355.000000	0.000000
Q15	350355.000000	0.000000
Q26	297942.000000	0.000000
Q16	297942.000000	0.000000
Q27	288253.000000	0.000000
Q17	288253.000000	0.000000
Q28	277898.000000	0.000000
Q18	277898.000000	0.000000
Q29	268640.000000	0.000000
Q19	268640.000000	0.000000
Q210	260812.000000	0.000000
Q110	260812.000000	0.000000
Q211	2466459.000000	0.000000
Q111	2590327.000000	0.000000
Q212	2696520.000000	0.000000
Q112	2952490.000000	0.000000
Q41	53616780.000000	0.000000
Q31	53976476.000000	0.000000
Q42	106496.000000	0.000000
Q32	444955.000000	0.000000
Q43	108837.000000	0.000000
Q33	108837.000000	0.000000
Q44	108670.000000	0.000000
Q34	108670.000000	0.000000
Q45	117543.000000	0.000000
Q35	117543.000000	0.000000
Q46	104372.000000	0.000000
Q36	104372.000000	0.000000
Q47	100992.000000	0.000000

Q37	100992.000000	0.000000	Q912	122288.000000	0.000000
Q48	97957.000000	0.000000	Q812	1710670.000000	0.000000
Q38	97957.000000	0.000000	Q101	3803733.000000	0.000000
Q49	95647.000000	0.000000	Q102	3924366.000000	0.000000
Q39	95647.000000	0.000000	Q113	164768.000000	0.000000
Q410	93646.000000	0.000000	Q103	164768.000000	0.000000
Q310	93646.000000	0.000000	Q114	166051.000000	0.000000
Q411	91792.000000	0.000000	Q104	166051.000000	0.000000
Q311	450300.000000	0.000000	Q115	180541.000000	0.000000
Q412	2385062.000000	0.000000	Q105	180541.000000	0.000000
Q312	3125992.000000	0.000000	Q116	160980.000000	0.000000
Q71	15400.000000	0.000000	Q106	160980.000000	0.000000
Q61	692556.000000	0.000000	Q117	156433.000000	0.000000
Q72	15055.000000	0.000000	Q107	156433.000000	0.000000
Q62	589056.000000	0.000000	Q118	151333.000000	0.000000
Q73	15305.000000	0.000000	Q108	151333.000000	0.000000
Q63	15305.000000	0.000000	Q119	147968.000000	0.000000
Q74	15433.000000	0.000000	Q109	147968.000000	0.000000
Q64	15433.000000	0.000000	Q1110	145043.000000	0.000000
Q75	16806.000000	0.000000	Q1010	145043.000000	0.000000
Q65	16806.000000	0.000000	Q1111	142380.000000	0.000000
Q76	14923.000000	0.000000	Q1011	1350908.000000	0.000000
Q66	14923.000000	0.000000	Q1112	139749.000000	0.000000
Q77	14327.000000	0.000000	Q1012	2558958.000000	0.000000
Q67	14327.000000	0.000000	Q131	192349.000000	0.000000
Q78	13984.000000	0.000000	Q121	1883375.000000	0.000000
Q68	13984.000000	0.000000	Q132	183256.000000	0.000000
Q79	13704.000000	0.000000	Q122	1509506.000000	0.000000
Q69	13704.000000	0.000000	Q133	185564.000000	0.000000
Q710	13470.000000	0.000000	Q123	185564.000000	0.000000
Q610	13470.000000	0.000000	Q134	187565.000000	0.000000
Q711	13225.000000	0.000000	Q124	187565.000000	0.000000
Q611	743805.000000	0.000000	Q135	204392.000000	0.000000
Q712	5678971.000000	0.000000	Q125	204392.000000	0.000000
Q612	6737361.000000	0.000000	Q136	182358.000000	0.000000
Q91	147289.000000	0.000000	Q126	182358.000000	0.000000
Q81	1043235.000000	0.000000	Q137	177742.000000	0.000000
Q92	142108.000000	0.000000	Q127	177742.000000	0.000000
Q82	878442.000000	0.000000	Q138	171540.000000	0.000000
Q93	145520.000000	0.000000	Q128	171540.000000	0.000000
Q83	145520.000000	0.000000	Q139	167592.000000	0.000000
Q94	146078.000000	0.000000	Q129	167592.000000	0.000000
Q84	146078.000000	0.000000	Q1310	164199.000000	0.000000
Q95	158212.000000	0.000000	Q1210	164199.000000	0.000000
Q85	158212.000000	0.000000	Q1311	161174.000000	0.000000
Q96	141001.000000	0.000000	Q1211	1929486.000000	0.000000
Q86	141001.000000	0.000000	Q1312	158171.000000	0.000000
Q97	136419.000000	0.000000	Q1212	3055000.000000	0.000000
Q87	136419.000000	0.000000	Q151	232180.000000	0.000000
Q98	132401.000000	0.000000	Q141	1923206.000000	0.000000
Q88	132401.000000	0.000000	Q152	221254.000000	0.000000
Q99	129468.000000	0.000000	Q142	2268984.000000	0.000000
Q89	129468.000000	0.000000	Q153	220094.000000	0.000000
Q910	126954.000000	0.000000	Q143	220094.000000	0.000000
Q810	126954.000000	0.000000	Q154	222586.000000	0.000000
Q911	124587.000000	0.000000	Q144	222586.000000	0.000000
Q811	961043.000000	0.000000	Q155	243665.000000	0.000000

Q145	243665.000000	0.000000	Q2010	250283.000000	0.000000
Q156	217402.000000	0.000000	Q1910	250283.000000	0.000000
Q146	217402.000000	0.000000	Q2011	40339.000000	0.000000
Q157	212659.000000	0.000000	Q1911	2683490.000000	0.000000
Q147	212659.000000	0.000000	Q2012	39599.000000	0.000000
Q158	204845.000000	0.000000	Q1912	4216278.000000	0.000000
Q148	204845.000000	0.000000	Q221	376463.000000	0.000000
Q159	199158.000000	0.000000	Q222	352771.000000	0.000000
Q149	199158.000000	0.000000	Q223	351914.000000	0.000000
Q1510	194812.000000	0.000000	Q213	351914.000000	0.000000
Q1410	194812.000000	0.000000	Q224	350944.000000	0.000000
Q1511	190945.000000	0.000000	Q214	350944.000000	0.000000
Q1411	2685316.000000	0.000000	Q225	388457.000000	0.000000
Q1512	187182.000000	0.000000	Q215	388457.000000	0.000000
Q1412	4056411.000000	0.000000	Q226	330238.000000	0.000000
Q181	21530.000000	0.000000	Q216	330238.000000	0.000000
Q171	1881296.000000	0.000000	Q227	319573.000000	0.000000
Q182	21815.000000	0.000000	Q217	319573.000000	0.000000
Q172	2194743.000000	0.000000	Q228	308063.000000	0.000000
Q183	21348.000000	0.000000	Q218	308063.000000	0.000000
Q173	21348.000000	0.000000	Q229	297279.000000	0.000000
Q184	20665.000000	0.000000	Q219	297279.000000	0.000000
Q174	20665.000000	0.000000	Q2210	288423.000000	0.000000
Q185	22780.000000	0.000000	Q2110	288423.000000	0.000000
Q175	22780.000000	0.000000	Q2211	280201.000000	0.000000
Q186	19246.000000	0.000000	Q2111	2967640.000000	0.000000
Q176	19246.000000	0.000000	Q2212	272371.000000	0.000000
Q187	18600.000000	0.000000	Q2112	90980448.000000	0.000000
Q177	18600.000000	0.000000	Q251	645578.000000	0.000000
Q188	17640.000000	0.000000	Q241	12596.000000	0.000000
Q178	17640.000000	0.000000	Q161	3363618.000000	0.000000
Q189	17078.000000	0.000000	Q252	91031264.000000	0.000000
Q179	17078.000000	0.000000	Q242	12575.000000	0.000000
Q1810	16553.000000	0.000000	Q162	93409072.000000	0.000000
Q1710	16553.000000	0.000000	Q253	604231.000000	0.000000
Q1811	16054.000000	0.000000	Q243	12582.000000	0.000000
Q1711	2592081.000000	0.000000	Q163	591649.000000	0.000000
Q1812	15585.000000	0.000000	Q254	606217.000000	0.000000
Q1712	4053554.000000	0.000000	Q244	12504.000000	0.000000
Q201	46914.000000	0.000000	Q164	593713.000000	0.000000
Q191	2045390.000000	0.000000	Q255	668218.000000	0.000000
Q202	46202.000000	0.000000	Q245	13056.000000	0.000000
Q192	2322047.000000	0.000000	Q165	655162.000000	0.000000
Q203	309303.000000	0.000000	Q256	580696.000000	0.000000
Q193	309303.000000	0.000000	Q246	12226.000000	0.000000
Q204	304959.000000	0.000000	Q166	568470.000000	0.000000
Q194	304959.000000	0.000000	Q257	564667.000000	0.000000
Q205	336304.000000	0.000000	Q247	12074.000000	0.000000
Q195	336304.000000	0.000000	Q167	552593.000000	0.000000
Q206	285835.000000	0.000000	Q258	544943.000000	0.000000
Q196	285835.000000	0.000000	Q248	11806.000000	0.000000
Q207	276437.000000	0.000000	Q168	533137.000000	0.000000
Q197	276437.000000	0.000000	Q259	526711.000000	0.000000
Q208	266516.000000	0.000000	Q249	11597.000000	0.000000
Q198	266516.000000	0.000000	Q169	515114.000000	0.000000
Q209	257770.000000	0.000000	Q2510	512666.000000	0.000000
Q199	257770.000000	0.000000	Q2410	11407.000000	0.000000

Q1610	501259.000000	0.000000	Q3010	91314.000000	0.000000
Q2511	499817.000000	0.000000	Q3110	88862.000000	0.000000
Q2411	11225.000000	0.000000	Q2911	93281.000000	0.000000
Q1611	3486047.000000	0.000000	Q3011	88005.000000	0.000000
Q2512	487601.000000	0.000000	Q3111	3311363.000000	0.000000
Q2412	1052770.000000	0.000000	Q2912	90039.000000	0.000000
Q1612	90783544.000000	0.000000	Q3012	3328390.000000	0.000000
Q271	664428.000000	0.000000	Q3112	82651.000000	0.000000
Q261	3789744.000000	0.000000	Q321	19079.000000	0.000000
Q272	624632.000000	0.000000	Q331	3428965.000000	0.000000
Q262	3307854.000000	0.000000	Q322	19411.000000	0.000000
Q273	616378.000000	0.000000	Q332	3214063.000000	0.000000
Q263	616378.000000	0.000000	Q323	18980.000000	0.000000
Q274	618855.000000	0.000000	Q333	18980.000000	0.000000
Q264	618855.000000	0.000000	Q324	18370.000000	0.000000
Q275	684196.000000	0.000000	Q334	18370.000000	0.000000
Q265	684196.000000	0.000000	Q325	20280.000000	0.000000
Q276	595376.000000	0.000000	Q335	20280.000000	0.000000
Q266	595376.000000	0.000000	Q326	17139.000000	0.000000
Q277	578927.000000	0.000000	Q336	17139.000000	0.000000
Q267	578927.000000	0.000000	Q327	16595.000000	0.000000
Q278	559590.000000	0.000000	Q337	16595.000000	0.000000
Q268	559590.000000	0.000000	Q328	15746.000000	0.000000
Q279	539744.000000	0.000000	Q338	15746.000000	0.000000
Q269	539744.000000	0.000000	Q329	15230.000000	0.000000
Q2710	524985.000000	0.000000	Q339	15230.000000	0.000000
Q2610	524985.000000	0.000000	Q3210	14737.000000	0.000000
Q2711	511634.000000	0.000000	Q3310	14737.000000	0.000000
Q2611	3700081.000000	0.000000	Q3211	14264.000000	0.000000
Q2712	212292800.000000	0.000000	Q3311	3340419.000000	0.000000
Q2612	215370704.000000	0.000000	Q3212	13817.000000	0.000000
Q291	135849.000000	0.000000	Q3312	3376289.000000	0.000000
Q301	3053965.000000	0.000000	Q51	127432.000000	0.000000
Q292	129155.000000	0.000000	Q52	122840.000000	0.000000
Q302	123285.000000	0.000000	Q53	125856.000000	0.000000
Q293	244252.000000	0.000000	Q54	126168.000000	0.000000
Q303	123701.000000	0.000000	Q55	136523.000000	0.000000
Q313	120551.000000	0.000000	Q56	121671.000000	0.000000
Q294	234175.000000	0.000000	Q57	117823.000000	0.000000
Q304	118651.000000	0.000000	Q58	114278.000000	0.000000
Q314	115524.000000	0.000000	Q59	111698.000000	0.000000
Q295	263878.000000	0.000000	Q510	109476.000000	0.000000
Q305	133739.000000	0.000000	Q511	107413.000000	0.000000
Q315	130139.000000	0.000000	Q512	105409.000000	0.000000
Q296	214239.000000	0.000000	Q231	376463.000000	0.000000
Q306	108571.000000	0.000000	Q232	352771.000000	0.000000
Q316	105668.000000	0.000000	Q233	351914.000000	0.000000
Q297	205456.000000	0.000000	Q234	350944.000000	0.000000
Q307	104123.000000	0.000000	Q235	388457.000000	0.000000
Q317	101333.000000	0.000000	Q236	330238.000000	0.000000
Q298	195758.000000	0.000000	Q237	319573.000000	0.000000
Q308	99265.000000	0.000000	Q238	308063.000000	0.000000
Q318	96493.000000	0.000000	Q239	297279.000000	0.000000
Q299	187146.000000	0.000000	Q2310	288423.000000	0.000000
Q309	94842.000000	0.000000	Q2311	280201.000000	0.000000
Q319	92304.000000	0.000000	Q2312	272371.000000	0.000000
Q2910	180176.000000	0.000000	Q281	828453.000000	0.000000

Q282	777006.000000	0.000000
Q283	763681.000000	0.000000
Q284	758591.000000	0.000000
Q285	846359.000000	0.000000
Q286	730892.000000	0.000000
Q287	709347.000000	0.000000
Q288	686468.000000	0.000000
Q289	659860.000000	0.000000
Q2810	639578.000000	0.000000
Q2811	621932.000000	0.000000
Q2812	605554.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
3)	-538.960876	-1.000000
5)	0.000000	-0.399554
11)	0.000000	-0.782123
13)	0.000000	-0.312500
19)	0.000000	-1.240223
21)	0.000000	-0.495536
27)	0.000000	-0.854749
29)	0.000000	-0.341518
35)	0.000000	-1.240223
37)	0.000000	-0.495536
43)	0.000000	-1.865922
45)	0.000000	-0.745536
51)	-1430.000000	-1.000000
53)	0.000000	-1.517857
59)	0.000000	-0.659218
61)	0.000000	-0.263393
67)	0.000000	-0.357542
69)	0.000000	-0.142857
75)	0.000000	-0.541899
77)	0.000000	-0.216518
83)	0.000000	-2.502793
85)	-956.899536	-1.000000
91)	0.000000	-1.541899
93)	0.000000	-0.616071
97)	0.000000	-0.616071
99)	0.000000	-0.949721
105)	0.000000	-0.379464
107)	0.000000	-0.162011
113)	0.000000	-0.064732
271)	0.000000	0.005587
282)	0.000000	0.002232
655)	0.000000	-0.005587
666)	0.000000	-0.002232
1063)	0.000000	0.005587
1074)	0.000000	0.002232

NO. ITERATIONS= 114