



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
AMBIENTAL



**Virgílio António Livele**

**AVALIAÇÃO DE BENEFÍCIOS ECONÓMICOS DA ÁGUA ALOCADA PARA  
AGRICULTURA IRRIGADA:** Aplicação no sistema hídrico da parte moçambicana da  
bacia do rio Limpopo

Porto Alegre  
Fevereiro de 2015

**VIRGÍLIO ANTÓNIO LIVELE**

**AVALIAÇÃO DE BENEFÍCIOS ECONÓMICOS DA ÁGUA ALOCADA PARA  
AGRICULTURA IRRIGADA: APLICAÇÃO NO SISTEMA HÍDRICO DA PARTE  
MOÇAMBICANA DA BACIA DO RIO LIMPOPO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no Instituto de Pesquisas Hidráulicas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. André Luiz Lopes da  
Silveira

UFRGS-IPH  
Porto Alegre  
2015

**VIRGÍLIO ANTÔNIO LIVELE**

**AVALIAÇÃO DE BENEFÍCIOS ECONÓMICOS DA ÁGUA ALOCADA PARA  
AGRICULTURA IRRIGADA: APLICAÇÃO NO SISTEMA HÍDRICO DA PARTE  
MOÇAMBICANA DA BACIA DO RIO LIMPOPO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no Instituto de Pesquisas Hidráulicas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Aprovada em 25 de Fevereiro de 2015

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Professor Doutor André Luiz Lopes da Silveira  
**Orientador (UFRGS/IPH)**

---

Professor Doutor Carlos André Bulhões Mendes  
**Examinador Interno (UFRGS/IPH)**

---

Professor Doutor Guilherme Fernandes Marques  
**Examinador Interno (UFRGS/IPH)**

---

Professor Doutor Geraldo Lopes da Silveira  
**Examinador Externo (UFSM/PPGEC)**

## FICHA CATALOGRÁFICA

### CIP - Catalogação na Publicação

Livele, Virgílio Antônio

AVALIAÇÃO DE BENEFÍCIOS ECONÓMICOS DA ÁGUA ALOCADA  
PARA AGRICULTURA IRRIGADA: Aplicação no sistema  
hídrico da parte moçambicana da bacia do rio Limpopo /  
Virgílio Antônio Livele. -- 2015.  
135 f.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Lopes da  
Silveira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas  
Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos  
Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS,  
2015.

1. Irrigação Agrícola. 2. Capacidade de Suporte. 3.  
Escassez de Água. 4. Planejamento e gestão de  
recursos hídricos. 5. Valor Económico da Água. I. da  
Silveira, Prof. Dr. André Luiz Lopes, orient. II.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

À minha pequena **filha**, LarvÍNia de VirgÍlio Livele, pelo seu amor inocente e sincero que sente por mim!

À minha **rainha** Larinha pela paciência, compreensão, coragem e muita força que sempre me deu para juntos continuarmos a lutar!

À minha querida **mãe** Angelina pelo inquestionável papel de anjo de guarda da minha vida e de meus irmãos!

À minha **avó** Catarina que, mesmo com a sua “chatice”, foi fundamental na minha formação acadêmica de base (*In memoriam*)!

A elas **Dedico** este trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela saúde, força, oportunidades que me tem proporcionado; e sua permanente presença na minha vida.

Ao meu cunhado João Mangue pela iniciativa e apoio incomensurável que me ofereceu durante o processo de candidatura, e pelas revisões do meu trabalho.

Ao Prof. Dr Rolando Lima Rodrigues e ao Eng<sup>o</sup>. Alberto Banguine por terem aceitado escrever as cartas de recomendação.

Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas pela confiança e concessão da Carta de Aceitação.

Ao programa CNPq/MCT-Mz por ter tornado possível a continuidade dos meus estudos em uma instituição de ensino superior brasileira, através de concessão do apoio financeiro.

Especialmente, ao meu orientador, que dentro da sua indisponibilidade sempre abriu seu gabinete para me “aturar”, deixando valiosas orientações que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Aos professores Guilherme Fernandes Marques e Carlos André Bulhões Mendes pelas suas grandes contribuições durante a elaboração desta dissertação e por terem composto a banca examinadora.

Ao professor Geraldo Lopes da Silveira por ter aceitado o convite de fazer parte da minha banca examinadora como membro externo.

A todos os colegas do IPH, especialmente ao Juan; Carlos; Daniela; Regis; Bibiana e Ada, que incondicionalmente e de naturezas diversas sempre me dispensaram suas ajudas.

Aos professores do IPH que, directa ou indirectamente, trabalharam comigo e se dedicaram de forma desmedida na transferência dos seus conhecimentos académicos, profissionais e sociais, que tanto me fizeram aprender.

Aos meus irmãos e toda família em geral, que sempre me apoiaram moralmente para dar continuidade com os estudos e que nos momentos de minha ausência nunca deixaram de cuidar de todos meus interesses.

À Roberta Simon (amiga dos moçambicanos estudantes em POA), pelo carinho, integração social no Brasil, correcções na minha dissertação e força que me concedeu durante todo período da minha estadia.

Aos moçambicanos em Porto Alegre, que se tornaram minha família na diáspora, preenchendo um vazio deixado pela distância.

**À TODOS, O MEU GRANDE AGRADECIMENTO!**

## RESUMO

A agricultura, o sector que mais água demanda no mundo, constitui a base de desenvolvimento e alavanca das economias de vários países, sobretudo os em via de desenvolvimento, dos quais, Moçambique faz parte. Entretanto, a continuidade e intensificação desta actividade socioeconómica encontra-se sobremaneira comprometida devido ao aumento disputado pela busca dos recursos hídricos, associado às incertezas futuras (crescimento populacional, ocorrência das mudanças climáticas), o que confere razão suficiente para gerar conflitos entre usuários. Como forma de garantir a sustentabilidade das actividades agrícolas, vê-se como indispensável o conhecimento do valor real e económico da água alocada para este sector. Com este trabalho, cujo objectivo é modelar o sistema hídrico da parte moçambicana da bacia do Limpopo para uma avaliação económica dentro da capacidade de suporte do sistema hídrico no atendimento das actuais e acomodação de futuras demandas, pretende-se contribuir e auxiliar aos usuários e gestores de água daquela bacia na sua melhor percepção sobre o valor real de água, os benefícios decorrentes do seu uso e os custos económicos relacionados com a disponibilidade restrita de água. Como procedimentos metodológicos, através do método *Point Expansion*, foram construídas curvas de demanda de água dos principais usuários na agricultura irrigada, para a determinação dos seus benefícios económicos através do Sistema de Suporte a Decisões Acquanet, que também permitiu a simulação de diferentes cenários, visando a avaliação das vazões de água fornecidas para cada usuário e seus volumes de déficits acumulados; análise dos impactos económicos decorrentes do atendimento ou não das quantidades de água necessárias entre os usuários. Com o Acquanet, foi ainda testada uma nova regra de operação alternativa da barragem de Massingir. Os resultados mostraram que o sistema hídrico estudado, dentro das disponibilidades de água e condições actuais de sua operação, consegue a 100% atender as demandas actuais de todos os usuários. Porém, possui uma capacidade não suficiente para acomodar e satisfazer na sua totalidade as futuras necessidades de água, o que conseqüentemente geraria um acúmulo de perdas económicas por parte dos agricultores. Com isto, a alternativa de operação do reservatório de Massingir testada, figurou-se adequada e necessária para a definição de novas políticas de alocação de água baseadas em prioridades, o que tornaria a operação do sistema hídrico analisado flexível e mais eficiente.

## ABSTRACT

Agriculture, the sector that more water demand in the world, is the basis of development and leverage the economies of many countries, especially developing ones, of which Mozambique is a part.. However, the continuity and intensification of this socio-economic activity is greatly compromised due to increased competition for water resources demand, associated to future uncertainties, (population growth, occurrence of climate change), that gives enough reason to generate conflicts between users. In order to ensure the sustainability of farming activities, it is seen as essential to the real value and economic knowledge of water allocated for this sector. With this work, whose aim is to model the water system of the Mozambican part of the Limpopo basin for an economic analysis and assessment of water-system support capacity in meeting the current and future demands accommodation, we intend to contribute and assist users and managers of that catchment basin in perception on the real value of water, the benefits arising from its use and economic costs related to the restricted availability of water. As methodological procedures, through the method Point Expansion, water demand curves were constructed of the main users in agricultural irrigation, for the determination of their economic benefits through the Acquanet decision support system, which also allowed the different simulation scenarios, aiming the evaluation of water flows supplied for each user and their volumes of accumulated deficits; analysis of the economic impacts arising from the availability or not of the quantities of water required between users. With the Acquanet, was even tested a new alternative Massingir dam operation. The results showed that the water system studied, inside water availabilities and current conditions of its operation, achieves 100% meet the current demands of all users. However, it has a capacity not enough to accommodate and satisfy all future needs of water, which consequently will generate an accumulation of economic losses for farmers. So, the alternative of Massingir reservoir operation tested figured suitable and necessary for the definition of new water allocation policies based on priorities, which will make the operation of the water system considered more efficient and flexible.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 Problema .....	20
1.2 Hipótese .....	20
1.3 Objectivos .....	20
1.4 Justificativa do estudo .....	21
1.5 Estrutura do trabalho .....	24
<b>CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	27
2.1 PRECIFICAÇÃO DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA .....	27
2.1.1 Propósitos de aplicação de tarifas da água na irrigação agrícola .....	27
2.1.2 Formas de tarifar a água usada na agricultura .....	28
2.2 METÓDOS DE VALORAÇÃO ECONÓMICA DOS RECURSOS NATURAIS .....	30
2.2.1 Métodos de determinação da função de demanda da água na irrigação agrícola ...	33
2.2.1.1 Função de Produção .....	36
2.2.1.2 Método <i>Point Expansion</i> .....	40
2.3 SISTEMAS DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO NA GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	44
2.3.1 O SSD MODSIM .....	48
2.3.1.1 Descrição e Formulação Matemática do MODSIM .....	51
2.3.1.1.1 Descrição do Modelo .....	51
2.3.1.1.2 Formulação Matemática .....	54
2.3.2 O SISTEMA DE SUPORTE A DECISÕES (SSD) ACQUANET .....	55
2.3.2.1 Tipos de Simulação e Opções de Cálculo .....	59
2.3.2.2 Módulo de Análise Económica do SSD Acquanet .....	63
<b>CAPÍTULO III – ESTUDO DE CASO: Parte moçambicana da bacia do rio Limpopo</b> .....	67
3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA BACIA DO RIO LIMPOPO .....	67
3.2 CLIMA .....	69
3.3 PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO .....	69
3.4 PRINCIPAIS INFRAESTRUTURAS HIDRÁULICAS NA PARTE MOÇAMBICANA DA BRL .....	70
3.4.1 Barragem de Massingir .....	70

3.4.1.1 Regras actuais de operação da barragem de Massingir e suas principais características .....	71
3.4.2 Açude de Macarretane .....	73
3.4.3 Regadio do Chókwè .....	74
3.4.4 Regadio do Baixo Limpopo .....	75
3.5 DISPONIBILIDADES E DEMANDAS DOS RECURSOS HÍDRICOS NA PARTE MOÇAMBICANA DA BRL .....	76
3.5.1 Disponibilidades .....	76
3.5.2 Demandas dos Recursos Hídricos na parte moçambicana da bacia do Limpopo.	77
<b>CAPÍTULO IV – METODOLOGIA .....</b>	<b>80</b>
<b>CAPÍTULO V – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>104</b>
5.1 Cenário A .....	104
5.2 Cenário B .....	105
5.3 Cenário C .....	109
5.4 Cenário D .....	111
5.5 Cenário E .....	114
5.6 Análise global da distribuição dos benefícios/custos económicos obtidos pelos usuários agrícolas na simulação dos cinco cenários propostos.....	117
<b>CAPÍTULO VI – REFLEXÕES GERAIS .....</b>	<b>120</b>
6.1 Considerações .....	120
6.2 Limitações da pesquisa .....	121
6.3 Recomendações .....	122
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>130</b>

## LISTA DAS FIGURAS

Figura 1.1 – Escoamento médio anual de água na bacia do rio Limpopo .....	23
Figura 2.1 – Classificação dos recursos naturais segundo seus valores (benefícios) económicos .....	32
Figura 2.2 – Curva de demanda da água comparada com preço marginal .....	35
Figura 2.3 – Exemplo de diferentes funções das curvas de demanda da água .....	35
Figura 2.4 – Níveis de contribuição da água na produção de um determinado produto y .....	36
Figura 2.5 – Curva da Função Produção linear determinada através do <i>Point Expansion</i> ....	42
Figura 2.6 – Curva da Função Produção de Elasticidade Constante (Potencial) determinada através do <i>Point Expansion</i> .....	43
Figura 2.7 – Componentes básicos de um Sistema de Suporte a Decisões .....	45
Figura 2.8 – Interface Gráfica do Sistema de Suporte a Decisões MODSIM .....	49
Figura 2.9 – Representação esquemática de um modelo de rede de fluxo .....	51
Figura 2.10 – Representação da Rede de Fluxo (nós e arcos) no MODSIM .....	52
Figura 2.11 – Regras de operação de reservatórios respeitando Volume meta, segundo as prioridades pre-estabelecidas .....	53
Figura 2.12 – Estrutura da rede de fluxo no MODSIM com arcos e nós artificiais .....	53
Figura 2.13 – Topologia ilustrativa de um sistema hídrico em rede de fluxo traçado no SSD Acquanet .....	57
Figura 2.14 – Submodelos constituintes do SSD Acquanet .....	62
Figura 2.15 – Imagem ilustrativa das curvas de benefício marginal no Acquanet .....	64
Figura 2.16 – Configuração dos arcos económicos no Acquanet .....	65
Figura 2.17 – Exemplo de uma curva de benefício marginal linearizada .....	66
Figura 3.1 – Divisão da bacia hidrográfica do Limpopo entre os quatro países .....	67
Figura 3.2 – Imagem da parte moçambicana da bacia do Limpopo .....	68
Figura 3.3 – Distribuição da precipitação média anual por cada país integrante da BRL .....	70
Figura 3.4 – Imagem ilustrativa da barragem de Massingir .....	71
Figura 3.5 – Curva Cota-Área-Volume da Barragem de Massingir .....	72
Figura 3.6 – Imagem do açude de Macarretane ao longo do rio Limpopo .....	73
Figura 3.7 – Mapa ilustrando o regadio do Chókwè ao longo do rio Limpopo .....	74
Figura 4.1 – Fluxograma esquemático dos processos metodológicos seguidos neste trabalho .....	80

Figura 4.2 – Postos usados na análise das séries históricas com o método de regressão linear .....	82
Figura 4.3 – Gráfico de correlação entre as variáveis dos postos E0033 e 0037 .....	84
Figura 4.4 – Gráfico mostrando a comparação da série histórica observada na estação E0037 com a calculada, usando a equação de regressão .....	85
Figura 4.5 – Gráfico de regressão entre os postos E0033 e 0039 .....	86
Figura 4.6 – Plot para comparação da série histórica observada na estação E0039 com a calculada através de regressão .....	87
Figura 4.7 – Funções de demanda da água dos principais usuários na parte moçambicana da bacia do Limpopo .....	94
Figura 4.8 – Rede de fluxo representando a situação actual do sistema hídrico da parte moçambicana da bacia do Limpopo .....	96
Figura 4.9 – Topologia de rede de fluxo representando a situação futura de demandas na parte moçambicana da bacia do Limpopo .....	97
Figura 4.10 – Curva de benefício marginal editada no submodelo económico do Acquanet .....	102
Figura 4.11 – Dados das Características próprias dos links económicos determinados no Acquanet .....	102
Figura 5.1 – Gráfico ilustrando o comportamento da barragem de Massingir durante a simulação do cenário B .....	108
Figura 5.2 – Curva de probabilidade de permanência do actual volume máximo na barragem de Massingir .....	109
Figura 5.3 – Gráficos das Probabilidades de obtenção de benefícios máximos mensais nos cenários B e C .....	110
Figura 5.4 – Probabilidade de ter o reservatório de Massingir sempre cheio, considerando as condições do cenário D .....	113
Figura 5.5 – Gráficos das frequências abaixo das demandas necessárias para os usuários económicos, cenários C e D .....	115
Figura 5.6 – Gráfico ilustrando os meses com volume meta da barragem de Massingir abaixo do necessário durante a simulação do cenário E .....	117

## LISTA DAS TABELAS

Tabela 2.1 – Alguns exemplos de trabalhos desenvolvidos em sistemas hídricos com aplicação do SSD Acquanet .....	56
Tabela 3.1 – Distribuição das respectivas áreas entre os quatro países pertencentes a bacia do Limpopo .....	68
Tabela 3.2 – Principais características da barragem de Massingir .....	72
Tabela 3.3 – Resumo das principais características do açude de Macarretane .....	73
Tabela 3.4 – Principais características do regadio do Chókwè .....	75
Tabela 3.5 – Características de escoamento médio anual de algumas estações hidrométricas na BRL .....	77
Tabela 3.6 – Actuais demandas mensais de água na bacia do Limpopo .....	78
Tabela 3.7 – Futuras demandas de água na bacia do Limpopo .....	78
Tabela 3.8 – Estimativa das demandas totais futuras na parte moçambicana da bacia do rio Limpopo .....	79
Tabela 3.9 – Valores médios aproximados das necessidades de água para diferentes culturas propostos pela FAO .....	79
Tabela 4.1 – Áreas contribuintes nos postos de interesse na parte moçambicana da bacia do Limpopo .....	83
Tabela 4.2 – Tarifas de água bruta regularizada aplicadas pela UGBL na BRL .....	89
Tabela 4.3 – Tarifas de água regularizada cobradas no regadio do Chókwè .....	90
Tabela 4.4 – Pontos das curvas de demanda pelo uso da água por cada usuário .....	92
Tabela 4.5 – Funções de demanda da água de cada usuário e equações invertidas para P ....	93
Tabela 4.6 – Descrição dos cenários testados nas diferentes simulações efectuadas no Acquanet .....	95
Tabela 4.7 – Dados de entrada no Modelo Acquanet para o Reservatório de Massingir e “Açude de Macarretane” .....	100
Tabela 4.8 – Demandas hídricas médias mensais actuais e futuras referentes aos principais usuários na parte moçambicana da bacia do Limpopo .....	100
Tabela 4.9 – Funções ajustadas das curvas de demanda da água para a determinação do benefício marginal obtido por cada usuário económico na parte moçambicana da BRL .....	101
Tabela 4.10 – Eficiência Potencial de cada método de irrigação utilizada para determinação dos coeficientes da vazão de retorno dos usuários de demandas consumptivas e económicas no sistema estudado .....	103

Tabela 5.1 – Ordem das prioridades das demandas simuladas no cenário A .....	104
Tabela 5.2 – Resultados do cenário A, mostrando as vazões fornecidas aos actuais usuários e seus benefícios económicos .....	105
Tabela 5.3 – Resultados da barragem de Massingir obtidos no cenário A .....	105
Tabela 5.4 – Hierarquização das prioridades de todas demandas que compuseram o sistema simulado nos cenários B, C e D .....	106
Tabela 5.5 – Resultados obtidos na simulação do cenário B .....	107
Tabela 5.6 – Resultados do teste do cenário C, com a barragem de Massingir operado nas suas condições de NPA .....	110
Tabela 5.7 – Resultados comparativos do comportamento da barragem de Massingir nos cenários B e C .....	111
Tabela 5.8 – Estimativas de projecções de consumo para os três países que compartilham a bacia do Limpopo com Moçambique .....	112
Tabela 5.9 – Resultados do cenário D, considerando as projecções de consumo dos três países que compartilham a bacia do Limpopo com Moçambique .....	113
Tabela 5.10 – Ordem das prioridades adoptadas no cenário E para testar a nova regra de operação do sistema hídrico (barragem de Massingir) da parte moçambicana da BRL .....	115
Tabela 5.11 – Resultados do cenário E, com a consideração da nova regra operacional do reservatório de Massingir .....	116
Tabela 5.12 – Benefícios económicos médios anuais alcançados pelos usuários agrícolas nos diferentes cenários .....	117
Tabela 5.13 – Custos médios anuais de escassez de água para os usuários agrícolas, nos diferentes cenários simulados (B,C e D) .....	119

## LISTA DAS ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$A$  – Série uniforme dos benefícios anuais futuros

$Area_{tot}$  – Área total irrigada

AW – Símbolo de classificação do clima “tropical chuvoso de savana”, segundo Koppen

$Benef_i$  – Benefício do arco para um determinado nó

$Bmg$  – Benefício marginal da água

BSW – Símbolo de classificação do clima “Seco de estepe e Seco de estepe com inverno seco”, segundo Koppen

$C$  – Custo associado a vazão fornecida

$C_{bomb}$  – Custo de bombeamento

$C_{ji}$  – Custo por cada unidade de fluxo no arco  $ji$

$C_p$  – Consumo per capita ao ano

$C_{tot}$  – Custo total da água de irrigação

$c(w)$  – Representa o custo da água no método função produção

EF – Época Fria

$E_{nec}$  – Quantidade de energia total necessária

EQ – Época Quente

eq. – Equação

ex. – Exemplo

ha – Hectare

$i$  – Taxa de desconto (%)

$I_i$  – Vazão afluente ao reservatório  $i$

kg/ha – Quilograma por hectare

km – Quilómetro

km<sup>2</sup> – Quilómetro quadrado

kwh/ha – Quilowatt-hora por hectare

l/s – Litro por segundo

$l_{ji}$  – Capacidade inferior do arco  $ji$  no sistema de rede de fluxo em análise

m – Metro

m<sup>3</sup>/hab./ano – Metros cúbicos por habitante ao ano

m/mês – Metros por mês

$m^3/s$  – Metro cúbico por segundo  
 $m^3/s/mês$  – Metros cúbicos por segundo por mês  
 $mm$  – Milímetro  
 $mm/a$  – Milímetros ao ano  
 $Mm^3$  – Milhões de metros cúbicos  
 $Mt/ano$  – Meticais por ano  
 $Mt/ha/ano$  – Meticais por hectare ao ano  
 $Mt/ Kwh$  – Meticais por quilowatt-hora  
 $Mt/m^3$  – Meticais por metro cúbico  
 $n$  – Número do período de fluxo de caixa  
 $NAR$  – Necessidade hídrica bruta  
 $nr.$  – Número  
 $P$  – Prioridade oferecida a determinada demanda  
 $p_i$  – Preços dos  $i$  insumos privados  
 $P_0$  – População inicial  
 $P_{proj}$  – População projectada  
 $P_{runi}$  – Preço unitário de energia  
 $p_w$  – Preço da água  
 $p_y$  – Preço de Y  
 $Q_{abast}$  – Vazão média mensal necessária para abastecimento  
 $Q_{ji}$  – Vazão de fluxo do nó  $j$  ao nó  $i$   
 $Q_{min}$  – Vazão mínima  
 $R$  – Estado hidrológico  
 $s/d$  – Sem data  
 $S_i$  – Volume inicial do reservatório  $i$   
 $S_{ji}$  – Capacidade máxima do arco  $ji$  no sistema de rede de fluxo em análise  
 $t$  – Taxa de crescimento populacional média anual  
 $t_x$  – Taxa/tarifa aplicada pelo acesso e/ou uso da água  
 $u_i$  – Capacidade máxima do arco económico para um determinado nó  
 $US\$/ha/ano$  – Dólar por hectare por ano  
 $US\$/kwh$  – Dólar por quilowatt-hora



US\$/m<sup>3</sup> – Dólar por metro cúbico

V<sub>inicial</sub> – Volume inicial

V<sub>meta</sub> – Volume meta

VPL – Valor Presente Líquido

V $Pmg_{xi}$  – Valor do Produto marginal do insumo i

V $Pmg_w$  – Valor do Produto marginal da água

W – Quantidade de água usada no processo produtivo de Y

Y – Função de produção duma empresa/produtor

X<sub>n</sub> – Conjunto de insumos formado por bens e serviços privados

$\Delta t$  – Intervalo de tempo

$\varepsilon$  – Elasticidade-preço de demanda

$\pi$  – Representa a função do lucro na produção de Y

$\pi_{irr}$  – Rendimento líquido da agricultura irrigada por unidade de área

$\pi_{seq}$  – Rendimento líquido da agricultura de sequeiro por unidade de área

% – Símbolo usado para indicar a percentagem

## LISTA DOS ACRÓNIMOS E/OU SIGLAS

ARA-Sul – Administração Regional de Águas do Sul

BRL – Bacia do Rio Limpopo

CAM – Companhia Agro-Empresarial de Moçambique

DAA – Disposição A Aceitar

DAP – Disposição A Pagar

DNA – Direcção Nacional de Águas-Moçambique

DPAG-SPP – Direcção Provincial de Agricultura, Gaza-Serviços Provinciais de Pecuária

EH – Estado Hidrológico

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)

FO – Função objectivo

GUI – Graphical User Interface

HICEP – Empresa Pública Hidráulica do Chókwè, E.P.

LabSid – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões

LBPTC – Limpopo Basin Permanent Technical Committee

LIMCOM – Limpopo Water Course Commission

MAI – Massingir Agro-Industrial

MVC – Métodos de Valoração Contingente

NH – Número de anos do Horizonte de simulação

NPA – Nível Pleno de Armazenamento

NT – Número Total de anos na série ou de simulação

O&M – Operação e Manutenção

RBL – Regadio do Baixo Limpopo, E.P.

SADC – Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral

SDAEs – Serviços Distritais das Actividades Económicas

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SSD – Sistemas de Suporte a Decisões

T AFC – The African Food Company

UGBL – Unidade de Gestão da Bacia do Limpopo

USP – Universidade de São Paulo

## LISTA DOS APÊNDICES

Apêndice A – Vazões médias mensais em comum entre os postos E0033 e E0037, usadas para a regressão linear .....	130
Apêndice B – Série histórica de vazões médias mensais preenchidas para o afluente do rio Limpopo (E0037) .....	130
Apêndice C – Vazões médias mensais em comum entre os postos E0033 e E0039, usadas para a regressão linear .....	131
Apêndice D – Série histórica de vazões médias mensais preenchidas do posto E0033 sobre o rio Limpopo .....	131
Apêndice E – Vazões da série histórica já preenchida da estação E0039, usada como afluente na barragem de Massingir .....	132

## CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Gestores de recursos hídricos e elaboradores de políticas em todo o mundo são confrontados nos dias que correm com o aumento disputado das demandas sobre estes recursos já limitados (Ward, 2007) e associados a um futuro incerto quanto aos índices de crescimento populacional, ocorrência das mudanças climáticas (California Water Plan, 2009), exploração das fontes tanto superficiais bem como as subterrâneas. Há que salientar ainda que, a água pese embora ser um recurso natural renovável, é limitada e em questões temporais e espaciais, não estará sempre disponível para a satisfação de todos os usuários.

Anderson & Snyder (1997), apontam que o uso da água tem vindo a superar os limites dos sistemas naturais, facto sinalizado pela depleção dos lençóis freáticos, lagos a exaurir, e desaparecimento de áreas úmidas. Os autores, na sua explanação fazem ainda referência que diferentes estudos sobre utilização dos recursos naturais concluíram que, tanto os recursos renováveis e como não-renováveis estão sendo usados em um ritmo alarmante, com o aumento das taxas de consumo a colidir com as disponibilidades já em declínio.

Esta busca competitiva pela água que se regista principalmente em quase todos sectores que tem este recurso como bem ou insumo nos seus processos produtivos, gerando *escassez* e custos associados, remete a uma reflexão sobre o valor da água como um bem de consumo final, e seu uso como factor de produção.

Marques et al. (2006) citando Jenkins et al. (2004), definiram escassez dos recursos hídricos como sendo a diferença entre o que é efectivamente distribuído aos usuários e o que seria utilizado se a disponibilidade fosse irrestrita. A disponibilidade restrita da água, que se contrasta com crescentes requerimentos para diferentes usos, é razão suficiente para originar uma situação de conflitos entre vários e diferentes usuários dos recursos hídricos e comprometer a preservação/conservação dos meios ambientais e ecológicos. Estes conflitos, numa das classificações do Lanna (1998), podem decorrer do esgotamento da disponibilidade qual-quantitativa devido ao uso intensivo, que acaba impedindo o outro usuário de captá-la.

Para se minimizar esses impactos adversos que possam surgir da restrição da água, impõe-se a necessidade de estabelecimento de certos princípios e criação e/ou uso de instrumentos que permitam assegurar um tratamento simétrico a todos os usuários (Fernandez & Ferreira, 2006), dando-se maior prioridade sobre o uso da água ao sector que comprovadamente obtiver maior benefício social líquido.

Na opinião de Fernandez & Ferreira (2006), dentre várias metodologias ou instrumentos que podem ser estabelecidos, estes devem buscar ou priorizar quatro objectivos básicos: (i) buscar eficiência na alocação dos recursos hídricos; (ii) internalizar os custos sociais; (iii) reflectir o verdadeiro custo de oportunidade da água em cada uso; e (iv) auto-sustentabilidade financeira, no sentido de gerar recursos financeiros suficientes para financiar o plano de investimento programado para a bacia.

Loucks et al. (2005), citando o quarto princípio da Declaração de Dublin (1992), enaltecem que a água possui um valor económico para todos os seus usos e deve ser reconhecida como um bem económico, ressaltando a vitalidade de se reconhecer inicialmente o direito básico de todos os seres humanos do acesso ao abastecimento e saneamento à custos razoáveis e compatíveis. Para Young (1996) valor económico da água utilizada no processo produtivo (agricultura, indústria e outros serviços) é uma medida dos benefícios económicos de contribuição desta água para o valor de produção nestes sectores.

Para estimativa desta contribuição económica da água, Fernandez & Ferreira (2006), seguem propondo a metodologia de preços óptimos<sup>1</sup>, como sendo a que consegue atender os diferentes objectivos desejados com a adopção de preços pelo uso da água. Fisher (2002) no seu pensamento sobre água, corrobora com a valoração deste recurso, afirmando que a água é um recurso escasso, e recursos escassos tem seu valor económico.

Em Moçambique, país onde se localiza o objecto de estudo, vários instrumentos legais constituídos com intuito de orientar e regular o planeamento e gestão de água no país, com destaque para a *Lei das Águas-Lei nr.16/91; Política Nacional de Águas- resolução nr. 7/95 e a Política Tarifária de Águas-resolução nr.60/98*, conferem um valor económico e social à água, visando garantir um uso sustentável deste recurso entre vários e diferentes usuários.

A Política Nacional de Águas reitera o valor da água, definindo os recursos hídricos como um bem com valor económico e social. E realça a importância de aplicação de tarifas justas, compatíveis, e próximo do valor económico para a recuperação dos custos de abastecimento, de forma a assegurar serviços financeiramente viáveis. Por outro lado, a Política Tarifária de Águas ressalta os princípios de *Utilizador Pagador e Poluidor Pagador*,

---

<sup>1</sup> **Preço ótimo** para os usuários da água na irrigação agrícola, seria o máximo valor que os irrigantes estariam dispostos a pagar por metro cúbico de água e ficarem indiferentes entre produzir com ou sem irrigação, ou seja, é o ganho adicional que os agricultores teriam se irrigassem suas culturas com a água do rio ou manancial de captação, em relação ao valor da produção em sequeiro ( Fernandez & Garrido, 2002).

como forma de taxar quem utiliza a água de acordo com o custo de sua disponibilização. Ademais, especificamente a água para a agricultura irrigada, a Política Tarifária vinca a reabilitação e utilização rentável das infraestruturas de irrigação como um dos principais objectivo de aplicação de tarifas à este sistema.

Em quase todo mundo, os decisores políticos, gestores dos recursos hídricos, e inclusive os economistas, veem discutindo formas de aplicação de tarifas ou preços adequados e compatíveis aos usuários dos recursos hídricos<sup>2</sup>, com a tentativa de compreender o comportamento dos utilizadores de água, através de estimativas e interpretação de funções de demanda ou benefícios marginais advindos do uso da água FAO (2004) para garantir um equilíbrio entre oferta e demanda deste recurso nos diferentes sectores de actividades que vêm registando um elevado crescimento nas suas necessidades hídricas. E Paz (2000) reafirma que a eficácia do uso da água pode ser medida pelos benefícios econômicos líquidos que são obtidos por cada unidade aplicada.

É diante desta discussão e visão actual de gestão dos recursos hídricos considerando princípios económicos, como sendo forma mais eficiente que possa contribuir na conservação e planeamento destes recursos, reconhecendo o seu valor económico, que neste trabalho faz-se uma análise dos impactos económicos actuais e futuros da operação do sistema hídrico da parte moçambicana da bacia do Limpopo para a satisfações das recentes e futuras demandas de água na agricultura irrigada, que vem registando um elevado crescimento na exploração de mais áreas agrícolas.

A metodologia aplicada mostrou-se apropriada para o alcance dos propósitos deste trabalho, onde através dos cenários testados, os resultados oferecem alternativas de operacionalização do sistema hídrico em estudo numa forma eficiente e flexível, para na base de prioridades de alocação satisfazer-se as actuais e futuras demandas de água na bacia com a minimização de escassez para usos e/ou usuários prioritários, reduzindo-se assim as possibilidades de conflitos de uso dos recursos hídricos.

Os resultados obtidos, poderão ainda auxiliar aos usuários a perceber melhor os benefícios totais decorrentes do uso da água e os custos económicos relacionados com a

---

<sup>2</sup> International Conference on Water and the Environment. **The Dublin Statement on Water and Sustainable Development**, 1992. Disponível em: <<https://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/documents/english/icwedece.html>>. Acesso: 05/10/2014.

disponibilidade restrita. E por outro lado, espera-se que esta pesquisa sirva de ferramenta aos gestores de água daquela bacia, que terão também o valor económico como base de decisão, e poderão tomar suas deliberações quanto as quantidades a alocar, baseando-se nos reais retornos económicos, custos de oportunidade de alocação da água e de recursos entre vários usuários.

### **1.1. Problema**

De que forma poderá ser alocada a água na parte moçambicana da Bacia do rio Limpopo para atender as actuais e futuras demandas da água para a agricultura irrigada, perante uma disponibilidade limitada e confrontada com crescente exploração de mais áreas para esta actividade económica?

### **1.2. Hipótese**

A aplicação e uso de abordagens económicas para o reconhecimento do valor real da água usada na parte moçambicana da Bacia do Limpopo para a agricultura irrigada, pode conferir uma base de planeamento e gestão dos recursos hídricos com garantias de uma alocação economicamente eficiente entre os usuários.

### **1.3. Objectivos**

#### **Objectivo geral**

- ❖ Tem-se como objectivo geral deste trabalho, analisar economicamente os benefícios totais obtidos pelos agricultores no uso das quantidades de água alocadas dentro do sistema hídrico da parte moçambicana da Bacia do Limpopo, e avaliar o comportamento do sistema no atendimento às demandas ao longo do tempo, para uma proposta de um modelo de operação que servirá de suporte em processos de tomada de decisões no planeamento e gestão da água na bacia.

#### **Objectivos específicos**

- ❖ Fazer a simulação do sistema hídrico da área em estudo, através do uso do modelo Acquanet, para uma análise de sua confiabilidade no atendimento e acomodação das

actuais e futuras demandas de água na agricultura irrigada, com intuito de medir o impacto económico de diferentes prioridades de alocação da água.

- ❖ Propor teste de uma alternativa de operação da barragem de Massingir que poderia garantir uma satisfação contínua às demandas com elevada prioridade no sistema hídrico em estudo.

#### 1.4. Justificativa do estudo

A agricultura, o sector que mais água demanda no mundo, constitui a base de desenvolvimento e alavanca das economias de vários países, sobretudo os em via de desenvolvimento, dos quais, Moçambique faz parte. Assim, são necessárias políticas nacionais e técnicas científicas para o gerenciamento da disponibilidade e uso eficiente de água, de tal sorte que se permita uma intensificação sustentável desta actividade sócioeconómica.

Dentre principais sectores de actividades sócioeconómicas onde a água é imprescindível, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO)<sup>3</sup>, estima que cerca de 70% da água doce disponível ao homem são consumidos pelo sector de agricultura, 20% pela indústria e apenas 10% para consumo doméstico. Segundo estatísticas, as necessidades alimentares no mundo irão até 2050 implicar na duplicação de produção global actual de alimentos. Com esta situação, torna-se incontornável o aumento das demandas hídricas nestes sectores, sobretudo na agricultura, o que impõe um repensar sobre as estratégias e políticas de gestão da água a nível mundial<sup>4</sup>.

Em Moçambique o gerenciamento de recursos hídricos em termos de quantidade e qualidade é ainda um enorme desafio, pese embora possuir uma rede hidrográfica considerável, contando com treze principais bacias, nomeadamente: a bacia do rio *Maputo; Umbeluzi; Incomati; Limpopo; Save; Buzi; Pungué; Zambeze; Licungo; Ligonha; Lúrio; Messalo e Rovuma* (Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídricos, 2007).

---

<sup>3</sup> FAO. Dia mundial da água: *Agricultura utiliza 70% da água mundial; "Água e segurança alimentar"*. Disponível em: < <https://www.fao.org.br/DMApcqcn15mladFAO.asp>>. Acesso em: Junho/2014.

<sup>4</sup> . **Increase water harvesting in Africa**: Meeting global food needs requires strategies for storing rainwater and retaining soil moisture to bridge dry spells, urge **Johan Rockström** and **Malin Falkenmark**. Disponível em: < [http://www.nature.com/polopoly\\_fs/1.17116!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/519283a.pdf](http://www.nature.com/polopoly_fs/1.17116!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/519283a.pdf)>. Acesso em: Março/2015.



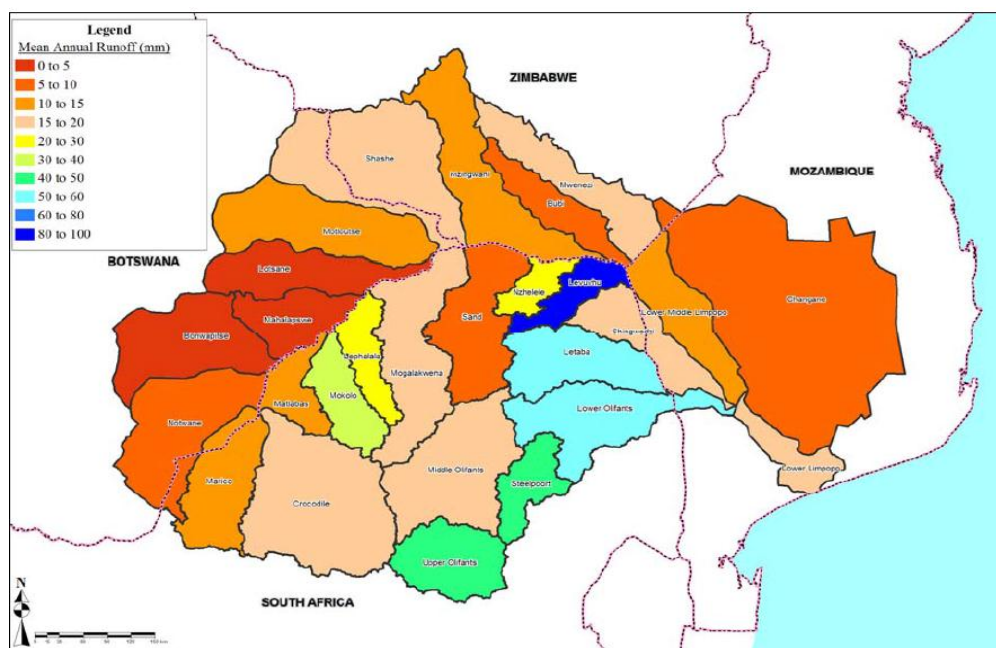
O desafio de gerir esta rede hidrográfica decorre pelo facto de Moçambique estar a partilhar nove das treze principais bacias com outros países da região da Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral (SADC) e localizar-se a jusante desses países (Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídricos, 2007). E associado a isto, dos acordos (por ex. LINCOM)<sup>5</sup> de cooperação e gestão integrada da bacia do Limpopo, em estudo, que Moçambique assinou com outros países integrantes, infelizmente, não constam estabelecidos mecanismos claros quanto a distribuição e partilha equitativa dos fluxos de água ao longo dos rios que confluem no território nacional.

Esta situação de partilha das bacias e numa localização desfavorável, deixa o território moçambicano susceptível ao uso intensivo dos recursos hídricos pelos países a montante, caracterizando-se principalmente pela redução dos caudais, escoamento de poluentes e descargas de fluxos de caudais artificiais devido ao efeito das barragens (Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídricos, 2007), o que deixa incerto e mina a disponibilidade actual e futura de água naquela região do país.

Só para dar um exemplo, na área de estudo, a dependência dos recursos hídricos originados nos países vizinhos é ainda extrema quando se tomar em consideração que apenas 10% do escoamento do rio Limpopo é originado das chuvas que caem em território nacional, **figura 1.1**, (Estratégia e Plano de Acção para a Conservação da Diversidade Biológica de Moçambique, 2003).

---

<sup>5</sup> Acordo LIMCOM: Assinado pelos quatro países que partilham a Bacia do Limpopo em 2003, que previa a criação da *Comissão do Curso de Água do Limpopo*, com objectivos de aconselhar as partes e fazer recomendações sobre os usos da água, bem como medidas de protecção, preservação e gestão da bacia. Disponível em: <<http://www.limpoporak.com/pt/governo/water+governance+in+the+limpopo+basin/agreement.aspx>>. Acesso em: 12/11/14.



**Figura 1.1:** Escoamento médio anual de água na bacia do rio Limpopo.  
**Fonte:** (LBPTC, 2010).

E em termos de projecções de uso/demanda da água pelos países a montante, LBPTC (2010) e Ashton, P. J. et al<sup>6</sup>.(2008), mostram um crescimento considerável, o que poderá contribuir na redução da disponibilidade de água no território moçambicano. África do Sul que consumia cerca de 3 030 Mm<sup>3</sup>/ano em 2010, está com uma estimativa de uso de mais de 3 774,2 Mm<sup>3</sup>/ano para 2025; Zimbábue no mesmo intervalo passará dos 1366 Mm<sup>3</sup>/ano para 1822 Mm<sup>3</sup>/ano e Botswana com cerca de 101 Mm<sup>3</sup>/ano em 2010, estima-se que em 2020 estará com uma necessidade hídrica de um pouco mais de 118 Mm<sup>3</sup>/ano.

É importante ressaltar que na parte moçambicana da bacia (área de estudo), onde se tem a irrigação agrícola como principal usuário, mostra-se também um cenário de necessidades de água crescentes, se se reparar para as projecções de exploração das áreas agricultáveis dos regadios de Chókwè, maior complexo irrigado do país, e o perímetro irrigado do Baixo Limpopo, em Xai-Xai, para além de abastecimento doméstico.

O regadio de Chókwè tem uma infraestrutura dimensionada para irrigar cerca de 33 mil ha, estando actualmente com uma área aproveitável de mais de 23 mil ha. Desta área, estão sendo explorados um pouco mais de 13 mil ha, graças a vários projectos de reabilitação

<sup>6</sup> ASHTON, P. J. et al. (s/d). Disponível em: <  
[http://www.anthonyturton.com/admin/my\\_documents/my\\_files/C2B\\_AshtonHardwick%26Breen\\_-\\_Final\\_-\\_25May2008.pdf](http://www.anthonyturton.com/admin/my_documents/my_files/C2B_AshtonHardwick%26Breen_-_Final_-_25May2008.pdf)>. Acesso em: 05/12/14.

do regadio (HICEP<sup>7</sup>, 2012) que perspectivam exploração a 100% da área potencialmente agricultável. No regadio do Baixo Limpopo em Xai-Xai, com uma capacidade de abranger um tanto de 70 mil ha, estão sendo usados cerca de 12 mil ha, com perspectivas de aumentar a área em 30 mil ha até 2017 (RBL<sup>8</sup>, 2013). Ademais, diversas associações e empresas privadas com uma área de cerca de oito mil ha exploram a actividade agrícola ao longo da bacia, incluindo outros projectos privados que poderão, em um futuro breve (2017), aproveitar mais de 100 mil ha na parte moçambicana da bacia (UGBL<sup>9</sup>, 2013).

Este inevitável crescimento de demandas dos recursos hídricos na bacia de Limpopo para a irrigação, aliado a desfavorável localização da zona do estudo ao longo da bacia, e com características físicas naturais adversas (escassez de chuvas), torna indispensável estudos que visam proporcionar alternativas técnicas eficientes de alocação de água e de promoção de um uso racional da água.

Nesta visão, atribui-se maior significância a este trabalho que vai contribuir na conscientização dos usuários sob ponto de vista de valoração económica de água, garantindo assim, duma forma sustentável, a intensificação da prática das actividades agrícolas naquela parte do país. Soma-se a isto, a garantia de segurança alimentar e nutricional às populações moçambicanas, manutenção e abertura de oportunidades de trabalho (emprego) e de fontes de renda.

## 1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho apresenta-se estruturado em seis principais capítulos. Na sequência são abordados cinco capítulos, para além da Introdução (**Capítulo I**), na qual apresentou-se uma ideia geral sobre o tema, que tem como foco uma abordagem sobre o uso da água com seu

---

<sup>7</sup> **HICEP**-Empresa Pública Hidráulica do Chókwè, E.P., criada e aprovada pelo Conselho de Ministros, segundo o Decreto nr. 3/97 de 04 de Março, com o principal objectivo de gerir as águas; infra-estruturas do perímetro irrigado do Chókwè, e organizar os utentes na administração, operação e manutenção dessas infra-estruturas.

<sup>8</sup> **RBL**- Regadio do Baixo Limpopo, E.P., criado e aprovado pelo Conselho de Ministros, segundo o Decreto nr. 5/2010 de 23 de Março, cujo objectivo fundamental é a gestão da terra, da água e das infra-estruturas hidráulicas, e organização dos utentes na administração, operação e manutenção dessas infra-estruturas em todo o perímetro irrigado do Baixo Limpopo.

<sup>9</sup> **UGBL**- Unidade de Gestão da Bacia do Limpopo.

reconhecimento económico; colocou-se o Problema de pesquisa; uma Hipótese a ser testada; objectivos propostos e a justificativa que mostra relevância deste trabalho.

O **Capítulo II**, do referencial teórico, faz alusão a precificação da água na irrigação agrícola, cingindo-se nos seus propósitos de aplicação de tarifas neste sector, e as formas de como pode ser efectivado o emprego de taxas ou cobranças pelo acesso e/ou uso da água para a agricultura. São apresentados métodos de valoração económica dos recursos naturais (água), dos quais, desenvolve-se com minúcia a teoria económica de função produção e a técnica *Point Expansion*, visando determinar a função de demanda da água na irrigação agrícola. Ainda neste capítulo; faz-se uma descrição precisa sobre os Sistemas de Suporte a Decisões no processo de planeamento e gerenciamento dos recursos hídricos, com maior desenvolvimento sobre o modelo Acquanet, que será principal ferramenta na análise que se pretende neste trabalho.

No **Capítulo III** apresenta-se o estudo de Caso, a parte moçambicana da bacia do rio Limpopo, com principal foco para a localização da área de pesquisa, as condições climatológicas da zona, principais infraestruturas hidráulicas na área de interesse. Fala-se também das disponibilidades e das demandas hídricas actuais e suas projecções de uso, onde tem-se a irrigação agrícola como usuário mais importante.

**Capítulo IV** mostra processos metodológicos obedecidos para o desenvolvimento deste trabalho, desde a obtenção, análise e formação da base de dados necessários para o estudo; construção das curvas de função de demanda da água dos principais usuários na parte moçambicana da bacia do Limpopo, criação das curvas económicas no modelo Acquanet e seu uso para simulação de diferentes cenários, visando avaliar as disponibilidades de água e capacidade de atendimento das actuais e futuras demandas para a irrigação agrícola, e análise dos benefícios económicos advindos do uso da água.

**Capítulo V** apresenta os resultados obtidos e suas discussões para os objectivos propostos como escopo desta pesquisa. São mostrados resultados que figuram o atendimento das demandas não económicas e económicas, fazendo-se menção aos volumes fornecidos, tempo máximo abaixo da demanda necessária, e volumes acumulados de déficits. É ainda analisado o comportamento da barragem de Massingir (tempo máximo abaixo do volume meta e de esvaziamento) ao longo do período de simulação. O capítulo apresenta e examina também os dados económicos, que demonstram os benefícios que podem ser alcançados na

satisfação das demandas, e suas implicações em caso de atendimento limitado das vazões necessárias para cada usuário no sistema hídrico em análise.

No **Capítulo VI** faz-se uma consideração geral em jeito de conclusão sobre os objectivos apresentados, e de algumas ilações tiradas do desenvolvimento deste trabalho, é deixado neste capítulo um tanto de recomendações para futuros trabalhos, e melhorias de planeamento e gestão da água na parte moçambicana da bacia do Limpopo. Cabe ainda nesta parte do estudo, o realce de algumas limitações que foram enfrentadas durante o desenvolvimento da pesquisa até a materialização deste trabalho.

## **CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 PRECIFICAÇÃO DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA**

#### **2.1.1 Propósitos de aplicação de tarifas da água na irrigação agrícola**

Como forma de assegurar a continuidade das actividades agrícolas, mecanismos para reduzir o consumo excessivo e uso perdulário da água são necessários, de tal sorte que haja uma exploração sustentável que garanta o aumento dos rendimentos agrícolas com redução dos recursos hídricos utilizados na irrigação das culturas alimentares.

Bogaert et al. (2012), ressalta a primordialidade da agricultura na sociedade moderna, pela sua principal importância de proporcionar alimentos e garantir a segurança alimentar. Porém, esta mesma fonte, chama atenção especial para o sector de irrigação agrícola por ser o usuário que utiliza maiores quantidades de água quando comparado com os outros sectores de economia no mundo, que tem a água como um dos principais factores de produção.

Como descrito por Wichelns (2010), com o incremento da consciência da escassez de água e maior valorização dos custos de oportunidade de alocação dos recursos hídricos entre os usos competitivos, o interesse público em todo o mundo vem pensando nos últimos anos sobre a questão de aplicação de tarifas da água de irrigação, cujo principal objectivo é estimular um uso mais eficiente, tornando os usuários cientes de que a água é um recurso que pode ser escasso e que a protecção da sua qualidade e segurança da disponibilidade ou oferta tem seus custos (BOGAERT et al., 2012).

Na opinião de Molle & Berkoff (2007a), muita esperança tem sido investida na precificação da água como um meio de regular e racionalizar a gestão deste recurso, na sequência da ênfase colocada pelas conferências de Dublin em Janeiro de 1992, e do Rio, em Junho do mesmo ano, sobre o tratamento da água como um bem económico. Continuando com os mesmos autores, o preço da água no sector de irrigação é promovido prioritariamente como um mecanismo de recuperação de custos decorrentes da oferta da água, visando garantir a integridade das infraestruturas dos sistemas de irrigação, sua sustentabilidade financeira, e em alguns casos para a amortização do capital de investimento.

Segundo FAO (2004); Molle & Berkoff (2007a; 2007b); (OECD, 2009) e Bogaert et al. (2012) encontra-se sumariado a seguir os principais propósitos de aplicação de tarifas da água para irrigação agrícola, divididos em três categorias:

- **Gestão de demanda e de alocação da água, e controle da poluição**

A cobrança em projectos de irrigação serve como um instrumento económico que tem como principais objectivos: (i) redução das demandas excessivas; (ii) incentivo para um uso eficiente dos escassos recursos hídricos; (iii) alocação da água em usos com maior prioridade; (iv) incentivos para melhorar a qualidade da água através da redução dos níveis de poluição e/ou protecção do meio ambiente.

- **Os objectivos sociais**

Os objectivos de tarifar a água usada na agricultura destinam-se também para a criação de um imposto ou taxa sobre o benefício dos agricultores, e assegurar a equidade (justiça) de acesso aos recursos hídricos ou aos benefícios de sua utilização; através de adopção de mecanismos dos preços diferenciados para explicar os níveis de renda diferentes (DINAR et al., 1997 apud JOHANSSON et al., 2002).

- **Prestação de serviços**

A aplicação de tarifas da água de irrigação é uma ferramenta financeira para as entidades de prestação de serviços (públicas ou privadas), cujo propósito é gerar retornos para cobrir os encargos da prestação do serviço, que vão desde os custos de O&M, custos indirectos (ambientais, sociais e de oportunidade) e directos (abastecimento); e recuperação total ou parcial do capital investido na construção do projecto de irrigação. Soma-se a isto, o financiamento da manutenção adequada das infraestruturas de irrigação e sua expansão, garantindo uma continuidade na oferta e melhoria da confiabilidade aos usuários.

### **2.1.2 Formas de tarifar a água usada na agricultura**

Para a aplicação de tarifas da água na irrigação agrícola diferentes maneiras podem ser adoptadas de forma isolada ou combinada (FOA, 2004), com intuito de incentivar os agricultores a reduzir o consumo da água e, por outro lado, gerar retornos para as companhias de prestação de serviço (OECD, 2009). Conforme Johansson et al. (2002); FAO (2004);

Molle & Berkoff (2007a; 2007b), e Bogaert et al. (2012), destacam-se a seguir principais formas que são comumente utilizadas:

**Tarifa volumétrica:** nesta tarifa a água é cobrada com base nas quantidades totais desviadas para um usuário ou grupo de irrigantes. Esta cobrança pode ter um valor fixo por cada unidade de água recebida, em que a cobrança é directamente proporcional ao volume entregue ao(s) usuário(s); ou variável, que está relacionada a fixação de uma determinada cota de água, cuja acima da qual, a próxima unidade adicional (sujeita a disponibilidade e dentro dos limites) estará com uma taxa mais elevada.

- **Cobrança baseada na área:** esta tarifa pode ser fixada por hectare da fazenda, na qual a cobrança não está relacionada com a área irrigada, nem com o tipo de cultura, ou com o volume de água recebido. Esta tarifa é geralmente para cobrir os custos fixos do serviço, podendo variar em função da fonte de abastecimento (gravidade ou bombeamento). Por outro lado, pode ser fixada em função da área cultivada (irrigada) declarada pelo agricultor ou avaliada pela agência, sem tomar em consideração o tamanho da fazenda, tipo de cultura, nem a quantidade da água fornecida (excepto largas áreas irrigadas que necessitem grandes quantidades de água).
- **Cobrança baseada na cultura:** aqui o valor a cobrar é fixado na base da área e tipo de cultura irrigada. As diferentes tarifas para diferentes culturas são justificadas pela prioridade da cultura (por exemplo, cereais para a segurança alimentar) e pelo valor da água desviada ou consumida pela cultura, mesmo que não esteja necessariamente relacionada com a quantidade real da água fornecida.
- **Tarifas baseadas a preços no mercado (direitos da água negociáveis):** neste tipo de aplicação de tarifas os preços são definidos no de transacção de água, levando-se em consideração a estação do ano, e estas transferências de direitos de uso da água podem ser sazonal ou permanente. Os detentores de direitos de uso da água estão autorizados a comprar ou vender os seus direitos em conformidade com regras precisas de regulação para proteger e mitigar externalidades, podendo as autoridades de licenciamento definir os preços e seus limites.
- **Tarifas mistas:** aqui a cobrança é feita através da combinação das taxas fixadas com base na área; tipo de cultura e algum elemento volumétrico, podendo haver uma variação tarifária sazonal, em função da disponibilidade de água ao longo do ano.



Destas principais formas tarifárias da água, Bogaert et al. (2012) aponta a **tarifa volumétrica** como sendo a forma que tem o maior potencial para cumprir com as funções de incentivo de consumo eficiente e racional da água, e de recuperação de custos. Entretanto, a mesma fonte faz referência a eventuais impactos negativos deste tipo de cobrança na agricultura, pois, uma tarifa volumétrica reflectindo o verdadeiro valor da água por cada unidade fornecida aumentaria sobremaneira o preço da água, o que conseqüentemente provocaria uma redução no rendimento agrícola e/ou aumento dos preços dos produtos alimentares no mercado. Além disso, a necessidade dos dispositivos de medição que são difíceis de instalação e de complexa monitoria (FAO, 2004).

Apresentadas as formas de aplicação de cobrança da água alocada para agricultura, vale realçar que para esta pesquisa, o sistema foi modelado tomando em consideração a tarifa baseada na área irrigada, que apesar de ser uma forma indirecta de quantificar o volume total fornecido, permitiu uma avaliação muito precisa de necessidade e/ou consumo hídrico entre os usuários agrícolas.

## **2.2 Métodos de valoração económica dos recursos naturais**

Há muito tempo os recursos naturais eram considerados bens livres e infinitos, mas hoje eles são escassos (MBURU et al., s/d) <sup>10</sup>. Esta escassez confronta-se com o uso perdulário e alarmante dos recursos disponíveis, tanto renováveis quanto não-renováveis, acelerando assim, a degradação do meio ambiente.

Marques & Comune (1995), citados por Nogueira et al. (2000), apontam que muitos dos activos ambientais não têm substitutos e que a inexistência de “preços” para seus serviços distorça a percepção dos agentes económicos, o que induz os mercados a falhas na sua alocação eficiente, evidenciando divergências entre os custos privados e sociais.

Em conformidade com Motta (1997), quando os custos da degradação ambiental não são pagos por aqueles que a geram, estes custos são externalidades<sup>11</sup> para o sistema

---

<sup>10</sup> Mburu et al. Training Manual: Economic Valuation and Environmental Assessment. Disponível em: <[http://www.zef.de/module/register/media/3465\\_Economic%20Valuation%20and%20Environmental%20Assessment%20\(Training%20Manual\).pdf](http://www.zef.de/module/register/media/3465_Economic%20Valuation%20and%20Environmental%20Assessment%20(Training%20Manual).pdf)>. Acesso em: 27/08/2014.

<sup>11</sup> As *externalidades* em sistemas económicos podem ser definidas como sendo efeitos colaterais de produção e ou consumo, que afectam terceiros positiva ou negativamente (Pearce & Turner, 1990; Turner et al. 1993), na actuação de um determinado agente económico. Elas são consideradas positivas quando um agente gera

económico, ou seja, custos que afectam terceiros sem a devida compensação. Estas actividades económicas são, desta feita, planejadas sem levar em conta essas externalidades ambientais e conseqüentemente os padrões de consumo das pessoas são manejados sem nenhuma internalização dos custos ambientais. Além disso, as gerações futuras serão deixadas com um estoque de capital natural resultante das decisões das gerações actuais, arcando os custos que tais decisões podem implicar.

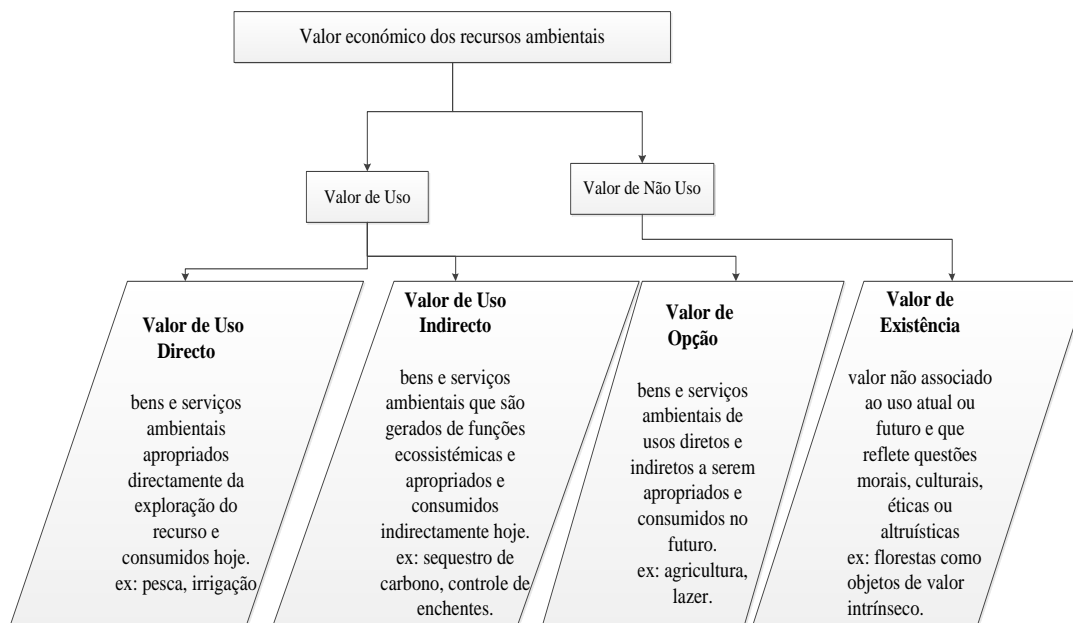
Motta (1997) afirma que, determinar o valor económico de um recurso ambiental é estimar o valor monetário deste em relação aos outros bens e serviços disponíveis na economia. Ressalta ainda que, embora o uso de recursos ambientais não tenha preço reconhecido no mercado, o seu valor económico existe na medida que seu uso altera o nível de produção e consumo (bem-estar) da sociedade.

No caso específico, onde o recurso natural a valorar é a água, para Fernandez & Garrido (2002), esta constitui uma tarefa bastante complexa, pois além das questões económicas, há também questões legais, institucionais, técnicas e sociais. E por outro lado, deve ser considerada uma grande gama de diferentes usos, desde a sua utilização como um bem de consumo final até ao seu uso como insumo de produção, incluindo a diluição de poluentes. Entretanto, Nogueira (2000) enaltece a imprescindibilidade da estimação dos custos de oportunidade da exploração dos recursos naturais, o que possibilita a redução antecipada dos custos sociais totais e evita a adopção de medidas correctivas que possam no futuro ser dispendiosas.

A questão de valorar economicamente os recursos naturais, chama a necessidade de adopção de diferentes métodos e/ou técnicas que deverão motivar uma exploração racional e eficiente destes recursos. Para a implementação destes métodos, Mburu et al. (s/d) e Motta (1997), acautelam para a percepção de que o valor económico dos recursos ambientais é derivado de todos os seus atributos, e que estes podem estar ou não associados a um uso. Para os autores, os atributos relacionados com seu valor de uso são definidos pela apropriação de bens e serviços ambientais e consumidos hoje, e os de não uso são fundamentalmente relacionados à própria existência do recurso, isto é, sem qualquer associação ao seu uso actual ou futuro. Os valores de uso podem, por sua vez, ser desagregados em: valor de uso directo, indirecto e valor de opção (**figura 2.1**).

---

benefícios externos positivos a um terceiro, e negativas quando estas criam um custo externo, provocando perda de bem-estar do outro e sem nenhuma compensação.



**Figura 2.1:** Classificação dos recursos naturais segundo seus valores (benefícios) económicos.  
**Fonte:** Motta (1997) & Mburu et al. (s/d).

Mburu et al. (s/d) e Motta (1997) referenciam ainda que a adopção de cada método dependerá do objectivo da valoração, das hipóteses assumidas, da disponibilidade de dados e do conhecimento da dinâmica ecológica do objecto que está sendo valorado.

Quanto aos recursos hídricos, recursos naturais com valor de uso directo, para a sua mensuração considerando como um bem com valor económico, Griffin (2006) apresenta oito principais técnicas: *Point Expansion*, *Função de Produção*, *Imputação Residencial*, *Programação Matemática*, *Regressão Estatística*, *Avaliação Contingente*, *Preços Hedônicos* e *Custo de Viagem*, como métodos que podem ser adoptadas para a estimativa das funções de demanda que expressam a vontade ou disposição dos usuários a pagar (DAP) ou a aceitar (DAA) pelo uso de água. Afirma ainda o autor, que a utilização eficiente de cada método depende do sector do uso da água e da disponibilidade dos dados.

Pela pertinência de valoração económica dos recursos naturais, várias pesquisas científicas vêm sendo desenvolvidas com aplicação de diferentes métodos, visando determinar os possíveis custos e benefícios advindos da utilização de serviços e bens ambientais. Para o recurso natural enfoque neste trabalho, que é a água, é mister apontar alguns exemplos de aplicação da valoração económica dos recursos hídricos:

- ❖ Dissertação de mestrado desenvolvida por PEREIRA, G.D. (2006) objectivando uma avaliação econômica da actividade náutica de recreação praticada no lago Paranoá,

que é um reservatório de usos múltiplos, tendo se concluído que o uso de água para esta prática apresenta maior significância económica.

- ❖ Modelagem hidro-económica do sistema Friant-Kern, Califórnia, desenvolvida por MARQUES, G.F. et al. (2006) com intuito de compreender o comportamento dos usuários de água na agricultura sobre a conservação, selecção ou troca das fontes (superficiais e/ou subterrâneas), transacção de água e decisões de mercado em resposta aos custos da água e sua disponibilidade, onde dos resultados concluiu-se que os preços elevados da água das fontes superficiais levaram os agricultores a bombear mais água subterrânea, perturbando um sistema de uso conjuntivo existente.
- ❖ Machado, B.G.F (2009) fez uma análise de alocação económica de água entre dois usos distintos, na irrigação e produção hidroeléctrica, onde diferentes simulações foram efectuadas no modelo Acquanet. Para valoração da água na irrigação aplicou o método da função de produção, e para geração hidroeléctrica avaliou a valoração económica da água através de simulações no modelo de optimização NEWAVE.

Dos diferentes métodos de valoração de recursos naturais que podem ser aplicados, para este estudo, são mais adiante desenvolvidas e apresentadas de forma pormenorizada as técnicas de *Função de Produção e Point Expansion*, dois dos métodos apresentados por Griffin (2006) como técnicas mais adequadas para avaliar o uso da água no sector da agricultura irrigada, usuário de interesse nesta pesquisa. A Função de Produção mostra o nível de contribuição económica de água para a produção agrícola; e *Point Expansion* mede a disposição dos agricultores a pagar pelo uso da água. Este último, merece ainda atenção mais especial por constituir parte da metodologia utilizada para o alcance dos objectivos propostos neste trabalho.

### **2.2.1 Métodos de determinação da função de demanda da água na irrigação agrícola**

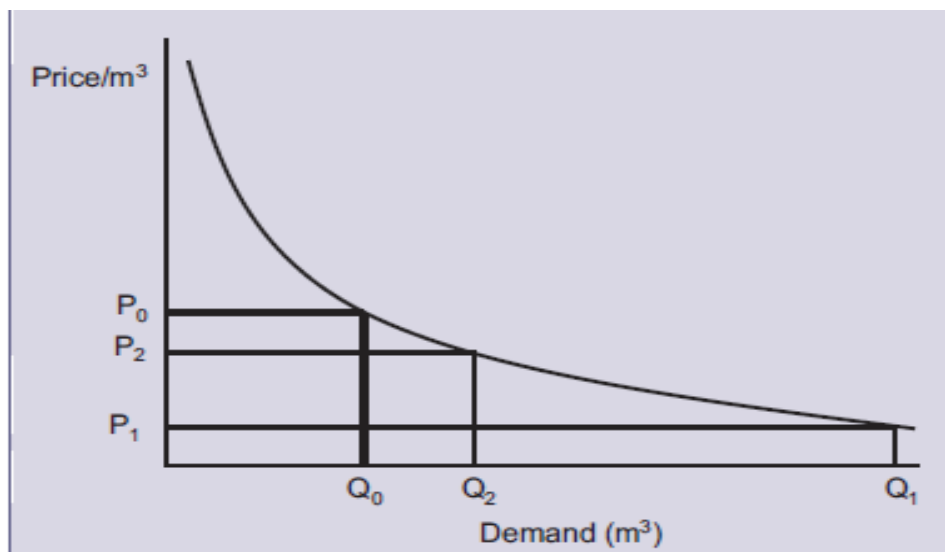
Em bacias hidrográficas, onde a alocação da água visa buscar uma eficiência económica, Schultz (1996) aponta a estimativa da função de demanda da água como uma das formas que podem auxiliar na compreensão de questões relacionadas com a repartição dos recursos hídricos. Continua o autor afirmando que, a teoria económica de mercados perfeitamente competitivos mostra que uma alocação eficiente da água é alcançada quando aqueles que estão mais dispostos a pagar tem consequentemente maior acesso à água.

Entretanto, Livingston (1993) aponta que os mercados só podem trazer incentivos precisos e promoção de um uso eficiente de recursos naturais, sob existência de condições específicas que só podem ser cumpridas na existência de um controle institucional. Para este autor, um sistema de mercado de alocação de recursos deve incluir as seguintes condições: (i) os usuários devem ter certeza da quantidade, qualidade, localização e em que tempo os recursos estão disponíveis; (ii) o recurso deve ser perfeitamente compartilhável e (iii) o uso dos recursos não deve afetar, ou ser efectuado pela utilização destes por uma outra parte.

Especificamente no caso dos recursos hídricos, Livingston (1993) afirma que as condições apresentadas podem ser violadas e levar a falha de mercado pelo facto de água ser um recurso geralmente de regime efêmero, irregular, repleto de externalidades, para além de seu uso ser muitas vezes não-rival.

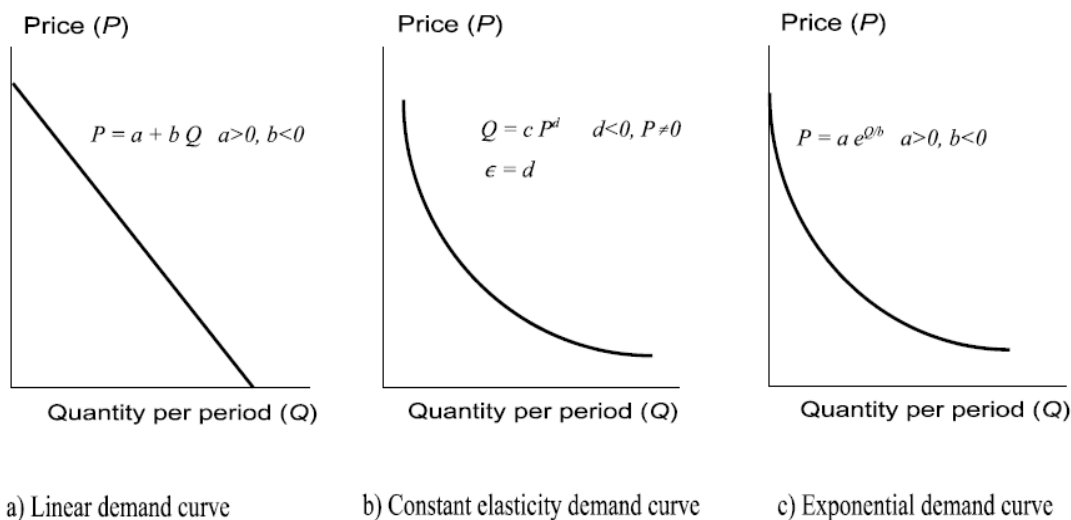
Quanto à determinação das curvas de demanda de água na agricultura, Schultz (1996) diz que, estas fornecem um mecanismo simples para determinar a quantidade de água em uma área de irrigação que os agricultores usariam a um determinado preço ou tarifa cobrada pelo seu uso. E no planeamento de projectos de água, os fornecedores públicos e privados de água para irrigação podem avaliar a viabilidade do fornecimento de água na garantia de cobertura dos custos do projecto, podendo ajustar seus preços para maximizar a eficiência económica na alocação dos recursos hídricos.

Conforme a FAO (2004), a função de demanda da água mostra a disposição de pagar pelo uso da água, onde esta varia em função da disponibilidade e o preço dos recursos hídricos. Na irrigação agrícola, por exemplo, a percepção comum é de que o aumento dos preços que estão directamente relacionados à quantidade fornecida, forçará os agricultores a consumir menos água e/ou irrigar e produzir de forma mais eficiente, reduzindo a procura (**figura 2.2**).



**Figura 2.2:** Curva de demanda da água comparada com preço marginal.  
**Fonte:** (FAO, 2004).

Para a construção ou estimativa das funções de demanda, pese embora estas sejam comumente ilustradas em teorias de economia usando linhas rectas, Diaz et al. (1996), para além da função linear, destacam também as funções elasticidade<sup>12</sup> constante (potencial) e exponencial (**figura 2.3**), por considerarem que a maioria das funções reais de demanda do mercado são, provavelmente, não-lineares, podendo estas ser aproximadas a uma linha recta em trechos curtos da curva.



a) Linear demand curve      b) Constant elasticity demand curve      c) Exponential demand curve

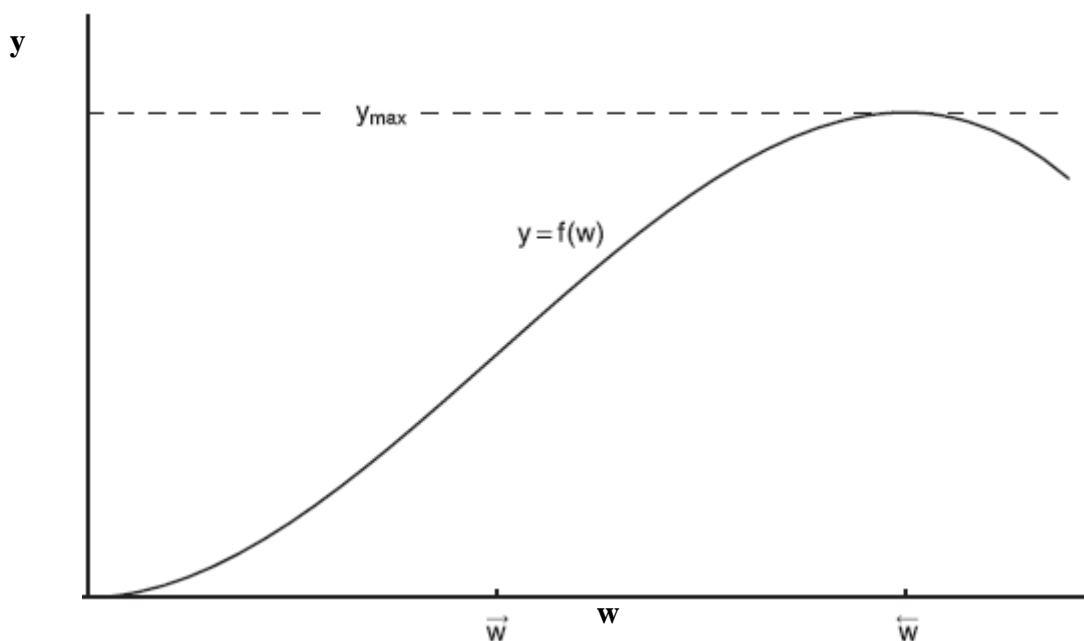
**Figura 2.3:** Exemplo de diferentes funções das curvas de demanda da água.  
**Fonte:** DIAZ et al. (1996).

Segundo acima referenciado, a seguir serão apresentadas as técnicas de estimativas das curvas de demanda, a Função de Produção e *Point Expansion*.

<sup>12</sup> **Elasticidade:** variação percentual na quantidade demandada que irá ocorrer para uma variação percentual no preço (Griffin, 2006).

### 2.2.1.1 Função de Produção

Vasconcellos & Garcia (2008), definem a *função produção* como sendo a relação que mostra a quantidade física obtida do produto a partir da quantidade física utilizada dos factores de produção em um determinado período de tempo. A combinação tecnológica dos factores para a produção de um bem e/ou serviço é ajustada em função do valor de cada insumo envolvido no processo produtivo, com intuito de maximizar-se a produtividade. Com isto, Motta (1997) afirma que a teoria de função produção pode ser usada como método para estimar o valor ou nível de contribuição dos recursos ambientais na produção de um produto Y, ou avaliar o impacto destes recursos em actividades económicas. Na **figura 2.4** mostra-se uma função de produção  $y=f(w)$ , na qual para diferentes níveis de utilização de água  $w$  é possível obter uma determinada quantidade produzida  $y$  até atingir um nível de produção e ganho marginal máximos.



**Figura 2.4:** Níveis de contribuição da água na produção de um determinado produto  $y$ .  
**Fonte:** (Griffin, 2006).

Na irrigação agrícola, o valor da água como um bem intermediário pode ser estimado através da avaliação de uma pressuposta variação de um produto  $y$  decorrente da variação da quantidade de água  $w$  utilizada na produção de  $y$  (MOTTA, 1997). Entretanto, este método é empregado sempre que é possível obter preços de mercado para a variação do produto  $y$  ou de seus substitutos.

Outro método apresentado pelo mesmo autor, que utiliza preços de mercado para valorar um recurso natural, é o método de bens substitutos para  $y$  e  $w$ , na hipótese de dependência directa entre estes, e que as variações marginais de quantidade de  $y$  devido a variação do bem ambiental  $w$ , não oferecem preços observáveis de mercado ou são de difícil mensuração. Este método considera a estimativa dos valores de uso a partir da observação do comportamento do indivíduo em mercados de bens substitutos ou complementares ao recurso ambiental.

Para uma melhor compreensão desta abordagem de função produção para a valoração dos recursos naturais (água), baseando-se em Young (1996); Motta (1997) e Griffin (2006), apresenta-se a seguir, com detalhes, uma construção analítica, em que vai se considerar que a tecnologia existente para uma empresa produzir  $y$  é especificada através de uma *função de produção*  $f$ , indicando o quanto de  $y$  pode ser produzido a partir de combinações alternativas dos insumos, onde a água faz parte (elemento de análise neste trabalho):

$$y = f(W, X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad \forall X_n \neq W; \quad (2.1)$$

**Sendo:**  $X_n$  - um conjunto de insumos formado por bens e serviços privados e  $W$  representa a quantidade de água usada no processo produtivo de  $y$ .

Assumindo um  $p_y$  como preço de  $Y$ ;  $p_i$  sendo preços dos  $i$  insumos privados ( $X_n$ ), e  $c(w)$  representando o custo da água, que com seu preço fixo será  $c(w) = p_w * W$ , então, a firma terá a sua função do lucro ( $\pi$ ) com a seguinte expressão:

$$\pi = p_y * f(w, X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq w}}^n p_i * X_i - c(w) \quad (2.2)$$

Da expressão do lucro acima apresentada (2.2), cada uma das quantidades dos factores de produção privados ( $X_n$ ), incluindo a quantidade de água usada ( $w$ ), constituem variáveis de decisão a ser combinadas e/ou optimizadas, de tal sorte que se atinja o intuito da firma ou do produtor que é de maximizar o lucro. Neste caso, a maximização da função ( $\pi$ ) pode ser alcançada satisfazendo as hipóteses básicas da teoria económica, a condição de primeira



ordem (primeiras derivadas parciais dos factores iguais a zero)<sup>13</sup> que pode ser obtida através das expressões:

$$\frac{\partial \pi}{\partial x_i} = p_y * \frac{\partial f}{\partial x_i} - p_i = 0 \quad \longrightarrow \quad p_y * \frac{\partial f}{\partial x_i} = p_i \quad (2.3)$$

e

$$\frac{\partial \pi}{\partial w} = p_y * \frac{\partial f}{\partial w} - \frac{\partial c}{\partial w} = 0 \quad \longrightarrow \quad p_y * \frac{\partial f}{\partial w} = \frac{\partial c}{\partial w} \quad (2.4)$$

Destas duas equações a posterior mostradas, (2.3) e (2.4), em condições de um mercado de concorrência perfeita, pode ser deduzido um outro postulado da teoria económica, que é o de maximização do lucro. Para tal, na expressão 2.4, considerando o custo marginal da água,  $\frac{\partial c}{\partial w}$ , igual ao seu valor  $p_w$ ;  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  e  $\frac{\partial f}{\partial w}$  iguais ao  $Pmg_i$  e  $Pmg_w$  respectivamente, alcança-se o valor do produto marginal da água ( $VPmg_w$ ) ou de cada insumo ( $VPmg_{xi}$ ), que nesta ordem igualam-se aos seus preços,  $p_w$  e  $p_i$ , e obtêm-se assim mais uma condição de maximizar o rendimento líquido da firma ou do produtor, ver as expressões (2.5) e (2.6).

$$VPmg_w = p_w \quad (2.5)$$

e

$$VPmg_i = p_i \quad (2.6)$$

Ainda na teoria de produção, uma outra expressão que é válida em condições de concorrência perfeita, é a do valor total de um produto que pode ser obtido através de parcelas em que cada insumo usado pelo produtor/empresa é pago com a sua respectiva produtividade marginal (eq.2.7).

$$VTP_y = \sum_{\substack{i \neq j \\ i=1}}^n VPmg_i * X_i + VPmg_w * W \quad (2.7)$$

<sup>13</sup> Pese embora na maioria das circunstâncias não ser necessário, para assegurar que o nível de satisfação da primeira condição (primeiras derivadas parciais iguais a zero),  $x_i$  e  $w$  fornecem um máximo lucro e não um mínimo, pode ser também verificada uma condição de segunda ordem:  $p_y * \frac{\partial^2 f}{\partial w^2} - \frac{\partial^2 c}{\partial w^2} < 0$ ;  $p_y * \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} < 0$

Pretendendo obter a expressão que determina a função de demanda pela água usando a teoria económica de função produção apresentada, é possível fazer-se um exercício ou cômputo matemático simples, substituindo em 2.7 as funções 2.5, 2.6 e a fórmula de determinação do valor do produto total, e isolar-se o  $w$  (equação 2.8).

$$w = \frac{1}{p_w} * \left[ (p_y * Y) - \left( \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n p_i * X_i \right) \right] \quad (2.8)$$

E ao se considerar conhecidos os preços do produto  $y$  e dos insumos  $X_i$ , é possível a manipulação da equação (2.8), ficando-se apenas com uma equação em duas variáveis,  $w$  e  $p_w$ , que pode se resolver para  $w$ , permitindo a obtenção da expressão da função de demanda da água  $w = D(p_w)$  em função do seu preço.

Especificamente na agricultura irrigada, para Fernandez & Garrido (2002), querendo determinada o valor do produto marginal da água, a equação 2.8 pode ser resolvida para  $p_w$ , o que representará o máximo valor que os usuários (irrigantes) estariam dispostos a pagar por metro cúbico de água e ficarem indiferentes em produzir com ou sem irrigação. Isto seria possível através da diferença entre o rendimento líquido ganho por agricultores que tem a água como um dos insumos de produção ( $\pi_{irr}$ ), e o rendimento ganho por aqueles que praticam a agricultura de sequeiro ( $\pi_{seq}$ ), dividido pela quantidade total de água utilizada no processo produtivo. A mesma expressão pode ser computada da seguinte forma:

$$p_w = \frac{(\pi_{irr} - \pi_{seq}) * Area_{tot}}{w} \quad (2.9)$$

**Com:**  $p_w$  - custo ou valor de água;  $\pi_{irr}$  - rendimento líquido da agricultura irrigada por unidade de área;  $\pi_{seq}$  - rendimento líquido da agricultura de sequeiro por unidade de área;  $Area_{tot}$  - área total irrigada;  $w$  - quantidade total de água usada para irrigação.

Em relação ao uso deste método de função-produção para a determinação do valor da água como insumo de produção, Young (1996) considera que para a sua aplicação deve se garantir que na contabilização da produtividade estejam incluídos todos os insumos com contribuição relevante no processo de produção e em quantidades certas. Em caso de

omissões ou subestimativas de um ou mais insumos pode se levar a uma superestimativa do valor residual de água, e efeito oposto, em situações de inclusão e soma de factores menos produtivos.

### 2.2.1.2 Método *Point Expansion*

Segundo Griffin (2006), o método *Point Expansion* é uma técnica de fácil aplicação e capaz de fornecer uma estimativa de função de demanda em contextos de recursos hídricos. Importa referir que, este método diferencia-se com o da Função Produção, principalmente pelo facto de possibilitar a obtenção da função de demanda sem maximizar a utilidade ou lucro da firma/usuário.

Para a utilização deste método deve ser conhecido um ponto na função de demanda ( $w$ -quantidade da água,  $p$ -preço), informação geralmente disponível, e um valor estimado da elasticidade preço da demanda (ou sua inclinação) através de um outro método.

A elasticidade preço da demanda e o ponto de demanda ( $w$ ,  $p$ ), por si constituem apenas dois parâmetros, a estimativa da curva de demanda será de funções com dois parâmetros, únicas opções viáveis, especialmente as formas linear (2.10) e de elasticidade constante (potencial) (2.11):

$$w = m * p + b \quad (2.10)$$

ou

$$w = k * p^\varepsilon \quad (2.11)$$

**Onde:**  $w$  - quantidade de água demandada;  $p$  - custo da água;  $m$  e  $b$  coeficientes da função linear;  $k$  - constante da função potencial e  $\varepsilon$  - elasticidade-preço de demanda.

Destas duas expressões, a segunda fórmula (2.11) pode também ser chamada de linear-log ou log-log, pois permite uma transformação logarítmica no seu lado direito e produz um relacionamento que é linear em  $P$ . Ambas funções podem ser facilmente invertidas para  $P$ , possibilitando a determinação dos benefícios totais obtidos pelo usuário. Na secção a seguir, com principal auxílio do conceito da elasticidade, mostra-se um desenvolvimento analítico para a obtenção destas duas funções acima apresentadas, conforme a descrição de Griffin (2006).

Na maioria das análises é comum contar com a noção de inclinação ou taxa de variação para caracterizar a resposta de um sistema às condições de mudança. Para esta interpretação os economistas falam de uma medida adimensional chamada de **elasticidade**, onde as funções de demanda apresentam elasticidade renda; elasticidade preço e elasticidade para qualquer outra variável independente como um argumento da função de demanda. Destaca-se em especial, a elasticidade-preço das funções de oferta e de demanda.

A elasticidade-preço da demanda ( $\varepsilon$ ), de interesse neste trabalho, é definida como a variação percentual na quantidade demandada que irá ocorrer para uma variação percentual no preço, podendo ser determinada com a expressão:

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta w}{w}}{\frac{\Delta p}{p}} = \frac{\Delta w}{\Delta p} * \frac{p}{w} \quad (2.12)$$

Porque  $w$  demandada cai com a subida do  $p$ ,  $\varepsilon$  é negativa. E no limite, como a variação percentual no preço torna-se pequeno, para que se possa falar de elasticidade-preço em um ponto específico na função de demanda, pode se reescrever a  $\varepsilon$  com a seguinte fórmula:

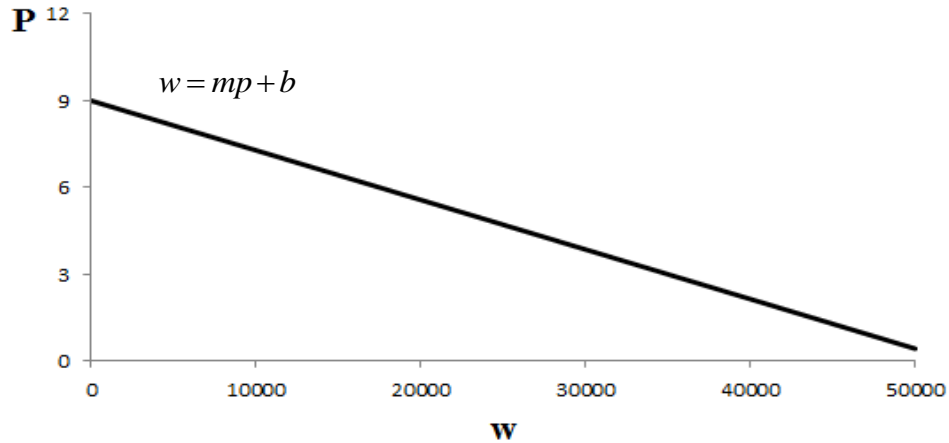
$$\varepsilon = \frac{dw}{dp} * \frac{p}{w} \quad (2.13)$$

É importante fazer menção que, geralmente as funções de demanda hídrica são preço inelásticas, o que significa que:  $-1 < \varepsilon < 0$ . Entretanto, isso não expressa que a quantidade demandada não responde a variações no preço, mas sim que uma mudança de 1% no preço induz numa variação de menos de 1% na quantidade demandada, considerando-se demanda elástica quando a elasticidade for menor que -1.

Considerando uma demanda linear e a elasticidade-preço em um ponto específico na função, a expressão 2.13, onde  $\frac{dw}{dp}$  representa a inclinação ou declividade ( $m$ ) que caracteriza a reacção do usuário perante uma variação no preço da água, e conhecendo-se um ponto de demanda ( $w, p$ ) e elasticidade estimada, podem ser determinados os parâmetros  $\mathbf{m}$  e  $\mathbf{b}$  e obter-se a função de demanda linear (2.10):

$$\frac{dw}{dp} = m = \frac{\varepsilon}{\frac{p}{w}} \quad \text{e} \quad b = w - m * p \quad (2.14)$$

Esses dois parâmetros determinados, são incorporados na expressão da curva linear e consegue-se assim a função:  $w = mp + b$ .



**Figura 2.5:** Curva da Função Produção linear determinada através do *Point Expansion*.

Como alternativa à função linear (2.10), tem-se a expressão potencial (2.11) que é obtida ao se assumir elasticidade-preço de demanda constante ao longo de todo domínio da função e, é operada a fórmula (2.13), primeiro em uma equação diferenciável, e depois resolvida por via da integração. Substituindo o ponto e o valor elasticidade em (2.11) é possível determinar o valor de **k**:

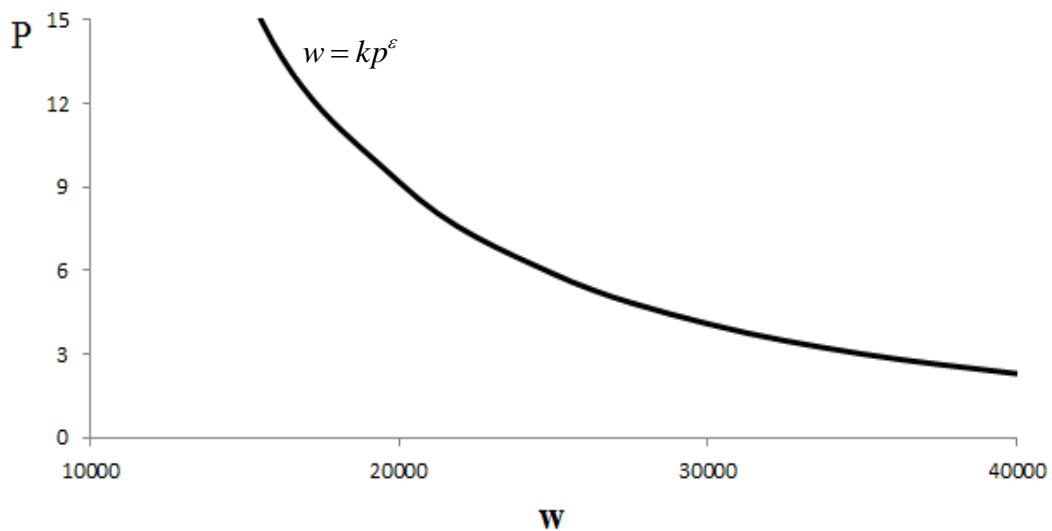
$$\frac{dw}{w} = \varepsilon * \frac{dp}{p} \quad (2.15)$$

$$\int \frac{dw}{w} = \varepsilon * \int \frac{dp}{p} \quad (2.16)$$

$$\ln w = \varepsilon * \ln p + \ln k \quad (2.17)$$

Onde  $\ln k$  é uma constante arbitrária, então obtém-se a função da curva demanda de

$$\text{elasticidade constante: } w = kp^\varepsilon .$$



**Figura 2.6:** Curva da Função Produção de Elasticidade Constante (Potencial) determinada através do *Point Expansion*.

Com as duas funções de demanda supraditas, que também podem ser chamadas de curvas de benefício marginal ou disponibilidade a pagar pelo uso da água, é possível determinar os benefícios totais ( $bm_g$ ) através de sua integração ao longo da curva. Para tal, ambas as funções devem antes ser invertidas e resolvidas em ordem a P:

$$w = mp + b \qquad w = kp^\varepsilon$$

$$p = \frac{w - b}{m} \qquad \text{ou} \qquad p = \left( \frac{w}{k} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}}$$

$$p = bm_g = \int_{w_i}^{w_{i+1}} \frac{w - b}{m} dw \qquad (2.18) \qquad p = bm_g = \int_{w_i}^{w_{i+1}} \left( \frac{w}{k} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} dw \qquad (2.19)$$

As expressões (2.18) e (2.19), dependendo de qual função de demanda é utilizada, oferecem duas estimativas de benefícios totais diferentes, sem querer dizer, no entanto, que cada função de demanda é correcta ou não, mas, sim, a que talvez proporcione melhor estimativa da demanda real.

A técnica de *Point Expansion* para estimativa da função de demanda da água, assim como outros métodos, oferece apenas uma estimativa da reacção do consumidor em relação a variação do preço, sem no entanto conseguir descrever o comportamento real humano, pois este toma suas próprias decisões, que provavelmente não seguirão rigorosamente nenhuma das duas funções.

A curva linear (**figura 2.5**), por exemplo, mostra uma situação em que no preço= 9 a demanda cai para zero, facto que é pouco provável que a este custo a quantidade demandada seria ou cairia para zero. E a função de elasticidade constante (**figura 2.6**) mostra um cenário oposto, onde independentemente de quão grande se tornar o preço, a demanda continua sempre positiva, sem isto significar que na realidade não haverá algum nível do preço que os usuários possam sentir um estrangulamento e frear o consumo ou mesmo buscar outras fontes de abastecimento. No entanto, este método confere maior confiabilidade quando as estimativas são muito próximas do ponto real de expansão da curva de demanda, e quanto mais distante desse ponto a curva torna-se não confiável e a sua aplicação também pouco fiável.

### **2.3 Sistemas de Suporte à Tomada de Decisão na Gestão de Bacias Hidrográficas**

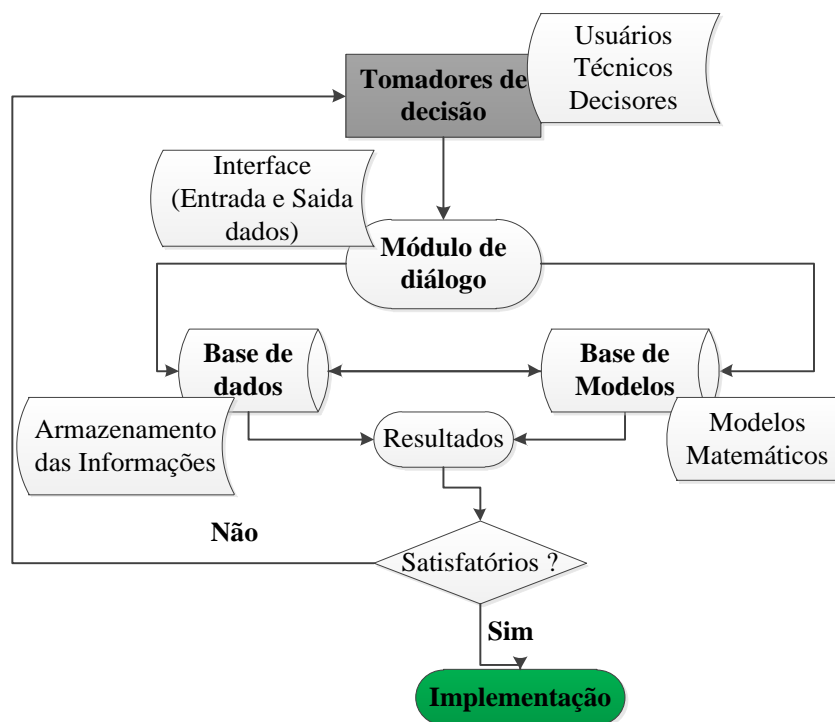
Em resposta à pressão aos gestores e tomadores de decisões na gestão de bacias hidrográficas, como consequência da busca incessante de água, *recurso já escasso*, vêm sendo desenvolvidos sistemas de modelagem matemática, com intuito de fornecer ferramentas capazes de apoiarem em alternativas ótimas ou aceites dentro do exercício de planeamento e gestão dos recursos hídricos. Estas ferramentas são chamadas de Sistemas de Suporte a Decisões (SSD) (DRUZDZEL & FLYNN, 2002).

Sprague & Carlson (1982), citados por Labadie (2010a) e Fredericks et al. (1998), definem SSD como sendo um sistema de suporte interactivo baseado em linguagens computacionais que ajuda aos decisores a utilizar dados e modelos, de tal sorte que se disponham de um conjunto de informações de domínio para resolver problemas muito complexos e não estruturados.

A definição dos autores acima mencionados é fortalecida por Porto & Azevedo (1997), que para além de verem como uma metodologia de auxílio à tomada de decisão baseada na intensa utilização de bases de dados e modelos matemáticos, sublinham a facilidade com que propiciam o diálogo e/ou a interacção entre o usuário e o computador.

Os Sistemas de Suporte a Decisões integram três principais subsistemas básicos: (i) um Módulo de diálogo/interface (homem-computador); (ii) um subsistema de base de dados (aquisição, gerenciamento e processamento) e (iii) um subsistema de modelos (análise e

predição) (BALTAR et al., 2003; LABADIE, 2010a; PORTO et al.<sup>14</sup>, 2003). A **figura 2.7** mostra de uma forma esquemática os componentes básicos de um SSD, que são operacionalizados até o alcance de resultados tidos como satisfatórios, isto é, melhores soluções possíveis com validade científica e desempenho esperado.



**Figura 2.7:** Componentes básicos de um Sistema de Suporte a Decisões.  
**Fonte.** (PORTO et al. 2003, adaptado pelo Autor).

Porto & Azevedo (1997); Porto et al. (2003) e Brigagão (2006) descrevem detalhadamente as funções de cada subsistema interativo que compõe um SSD:

- **Módulo de Diálogo** - este subsistema é constituído por interfaces que por meio das linguagens de programação, facilitam a comunicação entre o usuário e o computador para fornecer dados, propor problemas, formular cenários e analisar resultados. O diálogo com o usuário pode ser alcançado através de vários recursos de comunicação (gráficos, fotografias, animação, som, realidade virtual, dentre outros). Ressalta-se a incalculável importância desse módulo, por facilitar a participação de não especialistas no processo de avaliação e tomada de decisões.

<sup>14</sup> Rubem La Laina Porto et al. (2003). Disponível em: < <http://www.labsid.com.br/arquivos.php?id=126>>. Acesso em: 05/06/14.



- **Base de Dados** - a base de dados contém todas as informações significativas sobre o sistema em estudo e permite a relação entre si com facilidade e rapidez. Este componente deve também alimentar a Base de Modelos com os dados necessários e armazenar os resultados dos modelos para futuras análises e comparações.
- **Base de Modelos** - este componente dos SSD, com principal missão de transformar dados em informações de boa qualidade, é comumente constituído por modelos matemáticos que reproduzem o comportamento do sistema real permitindo analisar cenários alternativos (modelos de simulação) e através de modelos de optimização, ajudar o usuário a encontrar opções ou políticas óptimas de operação de sistemas, por exemplo, para abastecimento de água à irrigação agrícola.

Dentre os diferentes sistemas computacionais utilizados para a modelagem dos sistemas hídricos, especificam-se duas principais técnicas para análise destes sistemas, os modelos de *Simulação* e de *Optimização*, ou mistura de ambos, todos com objectivos de auxiliar no alcance de soluções alternativas que vão contribuir de uma forma eficiente e racional no planeamento e gestão dos recursos hídricos.

Para Loucks et al. (2005), a grande distinção entre estes dois sistemas é que os modelos de Simulação abordam os “*what-if*” dos cenários alternativos, dando resultados facultativos sobre o comportamento do sistema hídrico ao longo do tempo ao se assumir um determinado cenário ou se for tomada uma decisão particular; enquanto que os modelos de Optimização expressam “*what should be*”, provendo, o que deve se fazer, a melhor alternativa ou solução óptima para os propósitos em análise.

Para além dessa grande diferenciação acima exposta, podem ainda ser encontradas segundo Loucks et al (2005), com corroboração de De Oliveira (2008)<sup>15</sup> e de Almeder (2010)<sup>16</sup>, outras principais peculiaridades, vantagens e desvantagens, que os modelos de Simulação e de Optimização apresentam:

---

<sup>15</sup> DE OLIVEIRA, R. P. Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas: **Modelos de planeamento e gestão de recursos hídricos**, IST, 2008. Apostila. Disponível em: <[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572081508/GIBH\\_PGRH\\_Aula4.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572081508/GIBH_PGRH_Aula4.pdf)>. Acesso em: 29/12/14.

<sup>16</sup> ALMEDER, Christian. **Grand Challenges for Discrete Event Logistic Systems:Simulation vs. Optimization**. Institute for Business Administration-University of Vienna, 2010. Apostila. Disponível em: <<http://www.dagstuhl.de/Materials/Files/10/10102/10102.AlmederChristian.Slides.pdf>>. Acesso em: 29/12/14.

- Os SSDs de **Simulação** permitem a simulação dos sistemas hídricos de uma forma mais realista e com alta complexidade (inclusão de séries muito longas de dados hidrológicos, económicos, sociais, demandas), e são mais proeminentes para tomada de decisão de longo prazo, com possibilidade de testar várias alternativas. Entretanto, exigem a identificação manual das alternativas viáveis, e encontrar a melhor solução por método de tentativa e erro, o que torna difícil identificá-la em sistemas de larga escala.
- Os modelos de **Optimização** são explicitamente baseados em funções objectivo com variáveis de decisão desconhecidas que devem ser maximizadas ou minimizadas, possibilitando o alcance de soluções óptimas de forma automática. Estes sistemas são mais adoptáveis para a tomada de decisões de curto prazo e apresentam como limitação a simulação simplificada dos problemas do mundo real, pois a solução identificada como melhor pelo modelo pode não ser a mais adequada ou ideal para a situação real do sistema.

Como forma de exploração inteligente destes modelos de Simulação e de Optimização, os mesmos autores veem como solução, a utilização combinada dos dois métodos, na qual os modelos de Optimização terão como principal papel a identificação da melhor alternativa, reduzindo as possibilidades de escolha, e esta poderá ser avaliada/testada e aperfeiçoada através dos modelos de Simulação.

De forma geral, existem diferentes propósitos e vantagens dos sistemas de Simulação e/ou Optimização, como ferramentas de auxílio na operação de reservatórios e no processo de tomada de decisões sobre a gestão e planeamento dos recursos hídricos, destacando-se os seguintes, segundo Labsid<sup>17</sup>:

#### **Propósitos dos SSD**

- Auxiliar na tomada de decisão sobre qual a melhor regra de operação de um ou conjunto de reservatórios;
- Ajudar a definir que racionamentos devem ser impostos e que medidas mitigadoras podem ser tomadas;

---

<sup>17</sup> Labsid. **Aplicação do Sistema de Suporte a Decisão na Gestão de Recursos Hídricos-Modelo Acquanet**. Disponível em: <[http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/index/informe\\_files/Aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20SSD\\_Aquanet\\_S%C3%A3o%20Pedro.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/index/informe_files/Aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20SSD_Aquanet_S%C3%A3o%20Pedro.pdf)>. Acesso em : Junho/2014.

- Contribuir na avaliação da necessidade de tratar despejos industriais e efluentes domésticos (qual o tipo e o grau de tratamento de cada efluente);
- Apoiar nas decisões sobre a necessidade de construir o segundo reservatório (qual a capacidade e como ratear o custo de sua construção).

### **Vantagens dos SSD**

- Permite a elaboração e teste de diferentes cenários;
- As decisões são tomadas com base nos melhores dados e modelos aceites cientificamente;
- As decisões tendem a ser mais objectivas em relação às deliberações excessivamente subjetivas ou politizadas;
- Explorar diferentes alternativas a custos muitíssimo reduzidos;
- São excelentes instrumentos didácticos;
- Na tomada de decisões em grupo, todos os actores terão acesso às mesmas informações; e
- Constituem uma base para o consenso.

Em relação aos Sistemas de Suporte a Decisões no planeamento e gerenciamento dos recursos hídricos, é importante ressaltar que já foram desenvolvidos vários modelos<sup>18</sup> que servem de auxílio para diferentes finalidades, porém para este estudo, vai se dar enfoque e mais detalhes apenas em dois sistemas, o *MODSIM* e o *Acquanet*, pelo facto de o primeiro ter servido como base para a constituição do segundo que será utilizado como principal metodologia para o alcance dos objectivos propostos.

#### **2.3.1 O SSD MODSIM**

O MODSIM é um generalizado Sistema de Suporte a Decisões (SSD) na gestão de bacias hidrográficas e modelos de rede de fluxo, com a sua originalidade desenvolvida na Universidade Estadual do Colorado em 1978 (Labadie, 2010a). Este SSD foi desenvolvido com projecção específica de responder às crescentes demandas e às pressões sobre os gestores de bacias hidrográficas. Refira-se que, o modelo MODSIM é o mais antigo pacote de *software*

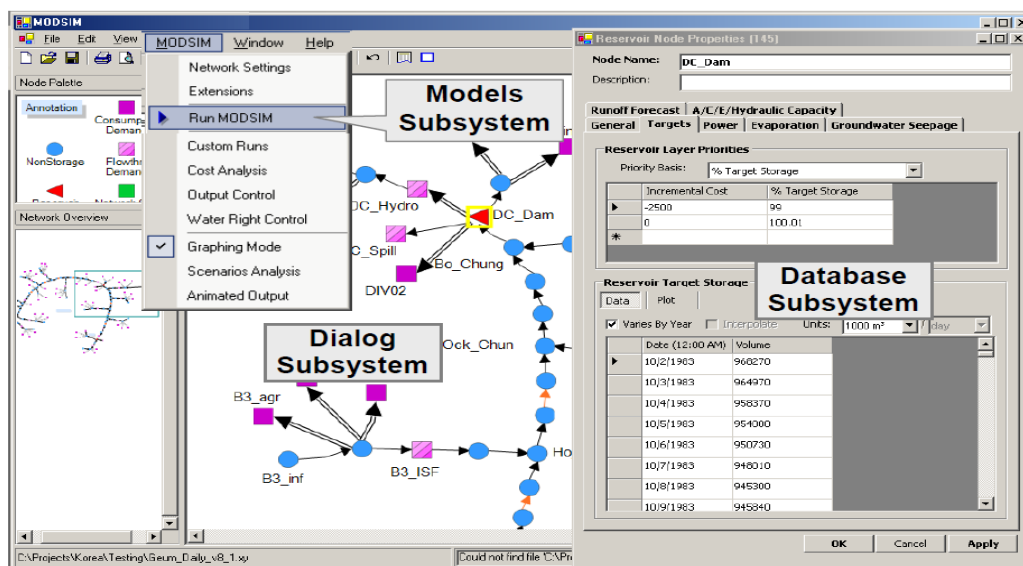
---

<sup>18</sup> Exemplo de alguns modelos: **WEAP**: Water Evaluation and Planning; **GAMS**: The General Algebraic Modeling System; **HEC-ResSim**: Reservoir Simulation; **CSSD**: Colorado's Decision Support Systems; **ILRSSD**: Illinois Rivers Decision Support System; **GMCR II**: Graph Model for Conflict Resolution; **WRPM**: Water Resources Planning Model; **RIBASIM**: River Basin Simulation Model.

de gestão de bacias hidrográficas que foi mantido continuamente disponível até as datas de hoje<sup>19</sup>.

O SSD MODSIM tem a capacidade de modelar sistemas hídricos de grande escala, empregando um algoritmo eficiente de otimização que minimiza o custo de alocação da água na rede e, por outro lado é habilitado para a realização de: planejamento operacional a longo prazo; planejamento de contingência de secas; análise de direitos da água, e resolução de conflitos entre usos: *doméstico, agrícola e preocupações ambientais* (LABADIE, 2007). Ademais, pode ser associado com distintos modelos para análise da utilização conjunta dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; simulação de qualidade da água, e com sistemas de informação geográfica (SIG) para o gerenciamento espacial de requisitos bases de gestão das bacias hidrográficas.

Um dos grandes destaques do MODSIM é a incorporação de uma interface gráfica do usuário (GUI) poderosa, **figura 2.8**, que conecta o modelo com os vários componentes de gerenciamento de banco de dados e um algoritmo eficiente de Otimização de rede de fluxo (Labadie, 2010a). Soma-se a isto, a facilidade que o usuário do modelo tem para criar qualquer topologia de sistema de bacias hidrográficas, fazer a importação de dados, leitura dos resultados, através do uso de vários ícones que também permitem colocar o esquema de estudo em qualquer configuração desejada (LOUCKS, 2006).



**Figura 2.8:** Interface gráfica do Sistema de Suporte a Decisões MODSIM  
**Fonte:** (LABADIE, 2010a)

<sup>19</sup> Disponível em <<http://modsim.engr.colostate.edu/index.shtml>>. Acesso em: 05/06/2014. Página Web que contém quase todo material sobre o modelo MODSIM, desde o seu conceito, funcionalidades, inclusive o programa de instalação (SetUp).

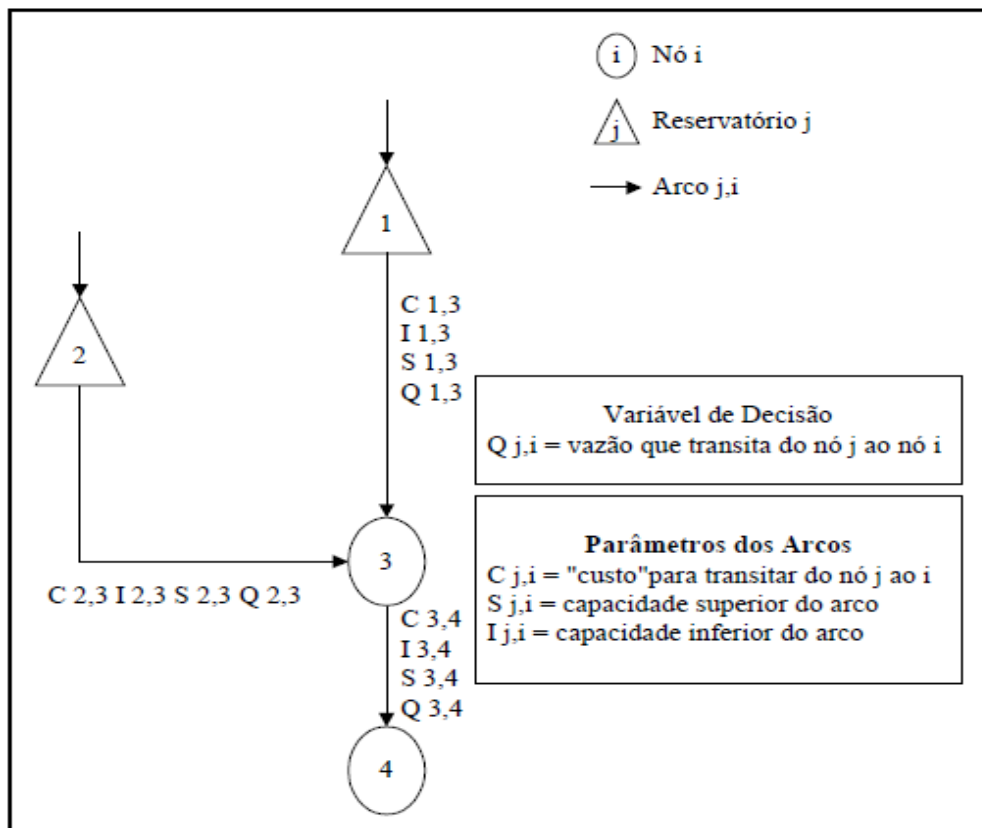
Outra grande vantagem deste SSD, é a integração automática da função objectivo e as suas restrições, sem necessidade de qualquer experiência em optimização ou programação de computador por parte do usuário. A optimização da função objectivo fornece essencialmente um meio eficiente de se atingir os objectivos de operação do sistema, demandas e curvas-guia, segundo as prioridades desejadas, garantindo que a água seja alocada em função dos aspectos físicos, hidrológicos e institucionais/administrativos de gestão das bacias hidrográficas (LABADIE, 2010a).

O MODSIM por ser um modelo de rede de fluxo, os sistemas dos recursos hídricos em análise têm a sua representação topológica composta por **nós** de armazenamento e de não armazenamento, e por arcos de ligação (**figura 2.9**). Os **nós** de **armazenamento** representam os *reservatórios e bacias subterrâneas*, e os de não armazenamento são *os pontos de demandas, confluências e pontos de desvios*. E os **arcos ou elos**, constituem as ligações entre os nós, podendo ser: *trechos naturais de rios, adutoras/condutores e canais* (LABADIE, 2010a; AZEVEDO; PORTO R.; PORTO M., 1998).

Os componentes da rede de fluxo contêm características específicas. Para os arcos devem ser referenciados três principais parâmetros, que são as suas capacidades ou limites máximos ( $S_{ji}$ ) e inferiores ( $I_{ji}$ ), e o custo ( $C_{ji}$ ) por unidade de fluxo ( $Q_{ji}$ ) que passa por cada elo. Os limites de cada elo no sistema em estudo podem ser constantes para todo o período de simulação ou variarem ao longo do tempo.

Em relação ao custo, importa ressaltar que este não representa necessariamente um valor monetário, podendo constituir um mecanismo para expressar as prioridades ou preferências utilizadas na definição das regras operacionais pelo usuário (AZEVEDO; PORTO R.; PORTO M., 1998); ou um factor de ponderação com a possibilidade de ser positivo (penalidade) ou negativo (prémio).

Para os reservatórios deve-se indicar os seus volumes máximos e mínimos, volume meta desejado (prioridades de armazenamento); volume inicial; curva cota-área-volume; série de vazões afluentes e suas taxas de evaporação e de perda por infiltração (LABADIE, 2007). E para as demandas menciona-se os valores de requerimento e suas distribuições temporais; prioridade de atendimento e suas “fracções de retorno”.

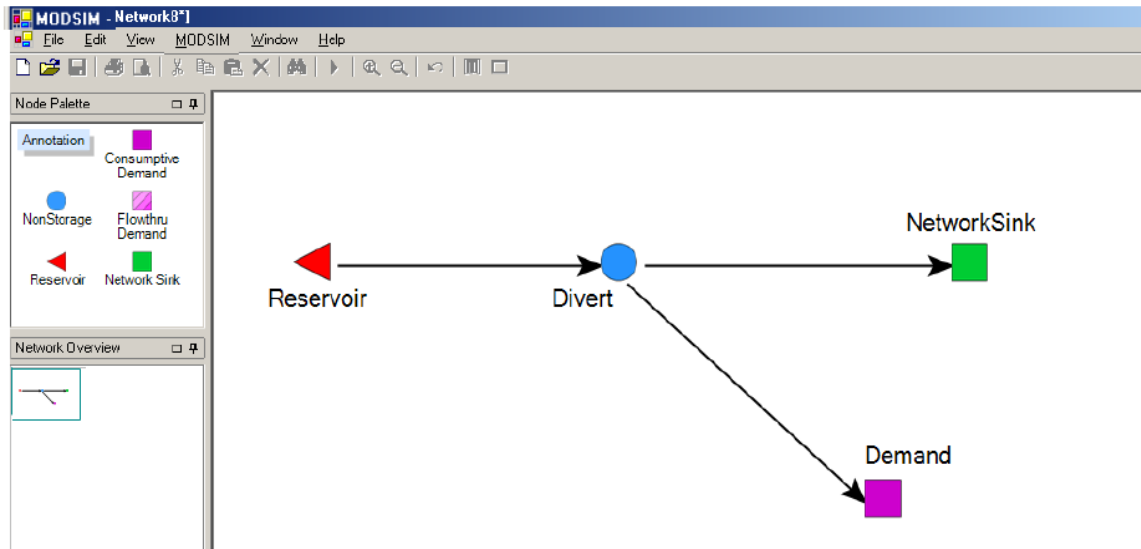


**Figura 2.9:** Representação esquemática de um modelo de rede de fluxo.  
 Fonte. (AZEVEDO; PORTO R., PORTO M., 1998).

### 2.3.1.1 Descrição e formulação matemática do MODSIM

#### 2.3.1.1.1 Descrição do Modelo

Labadie (2010a), aponta como princípio básico da utilização do MODSIM, a representação do sistema de recursos hídricos em rede de fluxo, ilustrado na **figura 2.10**, em que os seus componentes são os **nós** (reservatórios, pontos de demandas, confluências e pontos de desvios) e os **elos** ou **arcos** (trechos naturais dos rios, canais e condutos). No sistema, o usuário tem a possibilidade de colocar um número ilimitado de nós de demanda (consumptivas ou não), segundo os requerimentos dentro bacia em análise (ROBERTO, 2002). Na simulação do modelo, as demandas serão atendidas de acordo com as prioridades previamente definidas pelo usuário.



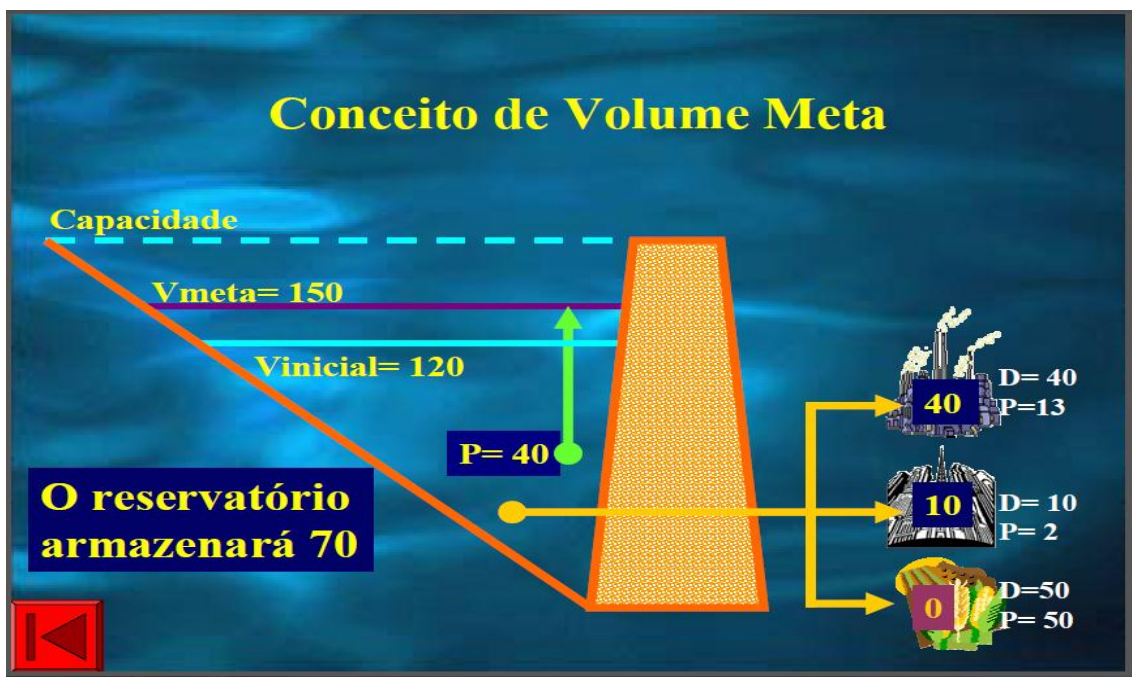
**Figura 2.10:** Representação da Rede de Fluxo (nós e arcos) no MODSIM.  
**Fonte.** (LABADIE, 2010a).

As prioridades estabelecidas ou adoptadas nas regras operacionais do sistema, variam entre 1 a 99, conferindo-se maior prioridade de atendimento, do menor para o maior valor absoluto. Os valores das prioridades são usados pelo modelo para calcular os seus custos (**C**) através da **fórmula 2.20**; onde ao se atender uma prioridade estará-se a diminuir os custos da rede de um valor **C** por unidade de vazão fornecida.

$$C = 10 * P - 1000 \quad (2.20)$$

Onde: **P**- prioridade oferecida a determinada demanda e **C**- custo associado a vazão fornecida.

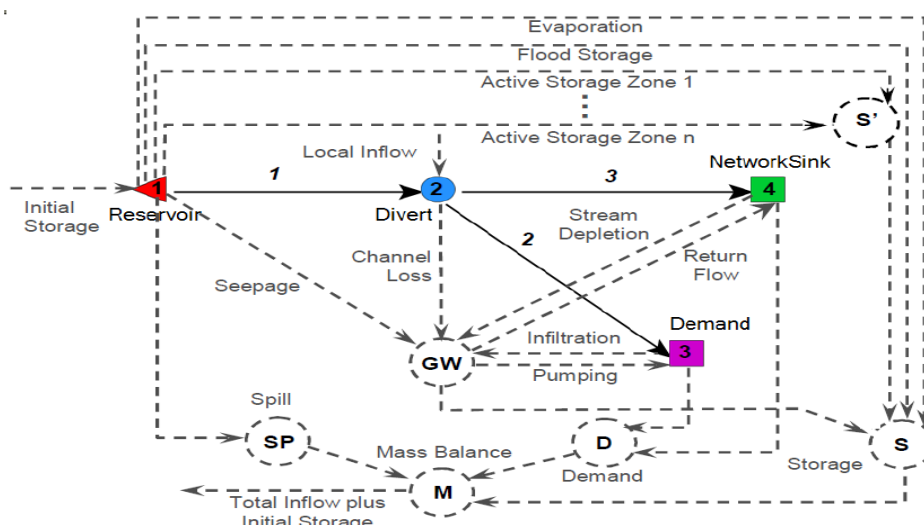
A operação dos reservatórios baseia-se na definição do volume meta ou prioridade de armazenamento, onde sempre que o volume armazenado for menor que o volume meta, o reservatório guardará água e não irá atender as demandas, desde que estas tenham prioridades menores (**figura 2.11**). No entanto, o volume armazenado acima do nível meta tem custo zero, ou seja, é livre para atender a quaisquer demandas por menores que sejam suas prioridades.



**Figura 2.11:** Regras de operação de reservatórios respeitando Volume meta, segundo as prioridades pre-estabelecidas.

**Fonte.** (RUBEM L. PORTO–Junho de 2002, apostila.).

Na metodologia do MODSIM, uma outra questão digna de realce, é a criação automática de diversos nós e arcos artificiais (para além da rede real do sistema), **figura 2.12**, que garantem a simulação do modelo dentro das normas de operação de reservatórios predefinidas pelo usuário; consideração de valores de demandas, vazões afluentes e assegura o balanço de massa em toda rede do sistema. Somando-se a isto, a rede artificial armazena o excesso de água em nós, evitando a alocações acima dos valores demandados e fluxos em elos que não pertencem a rede real do sistema em estudo (ROBERTO, 2002).



**Figura 2.12:** Estrutura da rede de fluxo no MODSIM com arcos e nós artificiais.

**Fonte.** (LABADIE, 2010a).



Os elementos que compõem a rede artificial apresentada na **figura 2.12**, tem as seguintes denominações e respectivas funções (FREDERICKS et al. 1998):

- **S**: acumula o volume total armazenado nos reservatórios no final do período actual e que será transportado para o início do período seguinte;
- **D**: acumula o volume total de demandas do sistema;
- **SP**: acumula o volume total de vertimentos nos nós de armazenamento do sistema;
- **GW**: nó do reservatório subterrâneo que mantém interacções entre águas subterrâneas e superficiais através dos *links* de vazões de retorno, bombeamento, perdas nos canais, ligações de infiltração, vertimento de reservatórios superficiais.
- **M**: nó de equilíbrio de massa, que garante que o influxo total seja igual ao total do fluxo de saída, mais a variação do volume armazenado no sistema.

### 2.3.1.1.2 Formulação Matemática

O modelo MODSIM, apesar de ser essencialmente um modelo de simulação, através do algoritmo *Out-of-kilter*, ele fornece uma eficiente optimização da rede de fluxo e garante a alocação de fluxos em bacias hidrográficas segundo os direitos da água específicos, as prioridades definidas e, incluindo a avaliação económica (LABADIE, 2010a).

O algoritmo *Out-of-kilter* minimiza o custo da rede, resolvendo um problema que é especializado para adquirir vantagens em questões com redes de uma estrutura linear (LABADIE, 2010b). Em sua formulação, o elo ou arco (i, j) no modelo é designado por um par de nós (i, j) que representa o início e o fim da ligação dos nós. Este algoritmo pode considerar vários elos ou arcos para o mesmo par de nós. A seguir, apresenta-se a função objectivo para a minimização do custo e suas equações de restrição:

Função Objectivo (FO) a minimizar:

$$\min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (2.21)$$

Sujeita às seguintes equações de restrição:

$$\underbrace{\sum_{\{j|(i,j) \in A\}} x_{ij}}_{OUT} - \underbrace{\sum_{\{j|(j,i) \in A\}} x_{ji}}_{IN} = 0 \quad i = 1, \dots, N \quad (2.22)$$

$$l_{ij} \leq x_{ij} \quad i, j = 1, \dots, N \quad (2.23)$$

$$x_{ij} \leq u_{ij} \quad i, j = 1, \dots, N \quad (2.24)$$

**Onde:**

$x_{ij}$  - representa a taxa de fluxo no arco (i,j) com os parâmetros do elo  $[l_{ij}; u_{ij}; c_{ij}]$ ;

$c_{ij}$  - é o custo por unidade de fluxo no arco (i,j);

$l_{ij}; u_{ij}$  - são respectivamente, os limites inferiores e superiores do trecho do fluxo;

$A$  - é o conjunto de todas ligações ou arcos na rede;

$N$  - é o número total de nós.

- A eq. 2.21 representa a FO que vai minimizar o custo de transporte do fluxo pelos arcos na rede;
- A primeira equação das condições de restrição (2.22) garante o balanço de massa em todos os nós  $i = 1, \dots, N$ , isto é, a vazão de entrada deve ser igual a de saída, inclusive nos nós automaticamente criados;
- A eq. 2.23 indica a restrição do fluxo mínimo no trecho, podendo ser maior ou igual a capacidade inferior do arco;
- A eq. 2.24 refere-se a restrição do fluxo máximo no trecho, devendo ser menor ou igual a capacidade superior do elo.

### 2.3.2 O Sistema de Suporte a Decisões (SSD) Acquanet

O Acquanet é um modelo de rede de fluxo para análise de sistemas complexos em recursos hídricos e auxiliar no processo de tomada de decisões (LabSid, 2002) em problemas relacionados ao aproveitamento de água. Este sistema é uma versão brasileira desenvolvida pelo LabSid, da Escola Politécnica da USP, a partir do modelo original MODSIM, acima descrito.

Devido a sua robustez, precisão e simplicidade, o modelo Acquanet tem conquistado atenção de muitos profissionais e pesquisadores que utilizam este SSD para várias análises de sistemas hídricos. Existem vários trabalhos já desenvolvidos que atingiram resultados satisfatórios para solução de diferentes problemas quanti-qualitativos dos recursos hídricos, destacando-se alguns exemplos na **tabela 2.1**.

**Tabela 2.1:** Alguns exemplos de trabalhos desenvolvidos em sistemas hídricos com aplicação do SSD Acquanet.

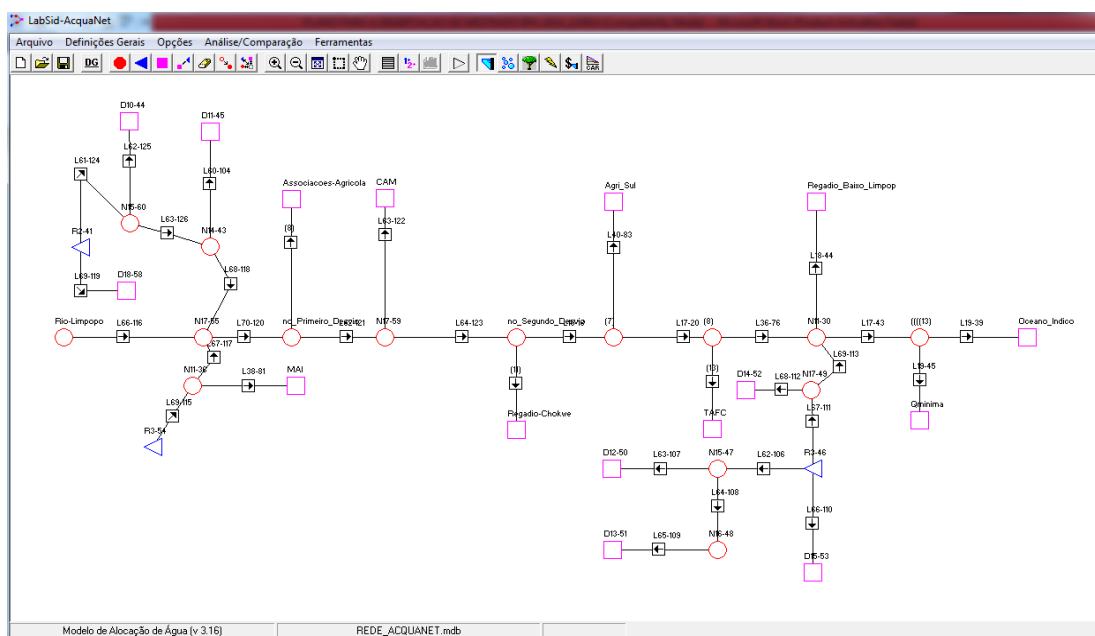
<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Tipo de Documento</b>	<b>Descrição</b>
ALBANO, G.D.	2004	Dissertação de Mestrado	Integração do Modelo Acquanet com CE-QUAL-R1 (modelo de qualidade de água) para desenvolvimento de uma metodologia de gerenciamento quali-quantitativo.
ANDRADE, P.R.G.S.	2006	Tese de Doutorado	Estudo para alocação ótima das águas de um sistema de reservatórios em série e em paralelo para usos e objetivos múltiplos.
BRIGAGÃO, E.N.	2006	Dissertação de Mestrado	Integração de análise econômica e Financeira no processo de tomada de decisão dos instrumentos de gestão: Cobrança; Outorga e enquadramento dos corpos.
SCHARDONG, André	2006	Dissertação de Mestrado	Aplicação de técnicas de Programação Linear e extensões para otimização da alocação de Água em Sistemas de Recursos Hídricos com situações de disponibilidade de água insuficiente a todos os usos conflitantes.
ARAGÃO, T.G.	2008	Dissertação de Mestrado	Estudo do comportamento da Sinergia Hídrica e avaliação de sustentabilidade em quatro reservatórios receptores da transposição das águas do rio São Francisco, assumindo como demandas hídricas o abastecimento e irrigação.
LEÃO, J.C.	2008	Dissertação de Mestrado	Definição de uma metodologia para implementação da Outorga de águas reservadas em regiões semi-áridas, tomando como base uma alternativa de solução regionalizada.
MACHADO, B.G.F.	2009	Dissertação de Mestrado	Avaliação econômica da alocação de água entre dois usos distintos, irrigação e geração de energia elétrica.
MELO, C.R.	2010	Dissertação de Mestrado	Transposição das águas do rio São Francisco para uma análise do atendimento às demandas nas bacias receptoras.

Quanto ao funcionamento do Acquanet, é importante frisar que apesar desse modelo manter as características básicas do modelo original MODSIM, apresenta modificações na sua interface gráfica e no sistema de gerenciamento de dados (PORTO et al., 2003). Enquanto o MODSIM é responsável pela criação e actualização de arquivos próprios, o Acquanet armazena todos os dados e resultados em bancos de dados no formato do Microsoft Access, aproveitando a estrutura e a funcionalidade possibilitada por este pacote.

Um outro aspecto que diferencia estes dois modelos está na gestão do excesso da água que pode fluir dentro do sistema em análise nos períodos de abundância. Enquanto o MODSIM cria automaticamente uma rede artificial de nós e arcos, no Acquanet recomenda-se

a colocação, no final da rede, de uma demanda fictícia ou artificial, geralmente denominada *Dreno*, com um valor de demanda muito alto para poder receber todo excesso, e com prioridade muito pequena ( $P=99$ ), para não competir com as demandas reais do sistema.

Sendo o Acquanet um modelo de rede de fluxo, na sua metodologia tem também como componentes para a representação dos sistemas hídricos, os nós (reservatórios, demandas, reversões, confluências, etc) e arcos (trechos naturais de rios, adutoras, canais) que são elos de ligação entre os nós (**figura 2.13**). Para cada arco deve se referenciar os seus limites: máximo ( $S_{ji}$ ) e inferior ( $I_{ji}$ ), e o custo ( $C_{ji}$ ) por unidade de fluxo ( $Q_{ji}$ ) que passa por cada elo. Ressalvar que, os limites de cada elo no sistema em estudo podem ser constantes ou variarem ao longo do tempo durante todo o período de simulação.



**Figura 2.13:** Topologia ilustrativa de um sistema hídrico em rede de fluxo traçado no SSD Acquanet.

**Fonte:** (Adaptado pelo autor no Acquanet).

Aos reservatórios são indicados os seus volumes máximos e mínimos; volume ou nível meta desejado; volume inicial; curva cota-área-volume; série de vazões afluentes e suas taxas de evaporação e de perda por infiltração (Labsid, 2002). Para as demandas menciona-se os valores de requerimento e suas distribuições temporais, prioridade de atendimento e suas frações de retorno.

Como descrito no capítulo sobre o SSD MODSIM, Porto et al. (2003) corroboram que, de igual modo, a operação dos reservatórios no Acquanet baseia-se na determinação do volume meta ou nível meta definido pelo usuário, ao qual é atribuído uma prioridade. Sempre

que o volume armazenado estiver abaixo do volume meta, o reservatório guardará água e não irá atender as demandas, desde que estas tenham prioridades menores (**figura 2.11**). No entanto, o volume armazenado acima do nível meta tem custo zero, ou seja, é livre para atender a quaisquer demandas por menores que sejam suas prioridades. Já as perdas por evaporação são calculadas através de um processo interactivo, que faz estimativas sucessivas da área média da superfície do reservatório, durante cada intervalo de tempo de simulação.

Quanto a formulação matemática, o modelo Acquanet mistura características dos modelos de simulação e optimização, e pode incorporar as características estocásticas das vazões de entrada (ROBERTO & PORTO, 2001a; 2001b). Para a resolução dos problemas de optimização dos sistemas hídricos, usa também o algoritmo *Out-of-kilter*, um algoritmo de programação linear primal-dual, que foi desenvolvido essencialmente para a minimização do custo total em sistema de rede de fluxo (ROBERTO, 2002), obedecendo as condições de restrição dos componentes do sistema. Nessa versão do Acquanet, o algoritmo de optimização usa intervalos de tempo mensais, e optimiza o fluxo de água no sistema de forma sequencial para cada período de cálculo.

O Acquanet, a despeito de várias vantagens que oferece, apresenta algumas limitações. O algoritmo deste modelo faz a optimização apenas dos sistemas lineares. A função objectivo é predefinida e, portanto, não pode ser voluntariamente especificada pelo usuário, e admite somente dois tipos de restrições já supramencionados (ROBERTO & PORTO, 2001a; 2001b). Outra limitação desta versão, é que o algoritmo *Out-of-kilter* optimiza de forma não dinâmica, ou seja, não garante um óptimo global para um período de “*n*” intervalos de tempo (ROBERTO & PORTO 2001b; ROBERTO et al., 2007).

É ainda de capital relevância para este trabalho, fazer menção sobre os tipos de Simulação e opções de Cálculo que o SSD Acquanet efectua. Tal como outros modelos desenvolvidos no LabSid (MODSIMP32), o Acquanet faz as simulações de maneira sequencial no tempo (Simulação Contínua) ou estatisticamente (Planejamento Tático), e apresenta duas opções de cálculo: Estados Hidrológicos e Calibração (LabSid, 2002; PORTO et al., 2003). Seguindo com os mesmos autores, apresenta-se a seguir, com pormenor, a descrição de cada tipo de simulação e opção de cálculo:

### 2.3.2.1 Tipos de simulação e opções de cálculo

#### Tipos de simulação

**Simulação Contínua:** nesta simulação o valor mais importante é o número total (NT) de anos de simulação, em que o usuário deve fornecer séries de vazões afluentes mensais com duração igual ao NT. O modelo irá efectuar os cálculos continuamente para todos os anos existentes e, ao final do cálculo os resultados são fornecidos mensalmente para todos os anos.

Este tipo de simulação é recomendado quando se pretende obter uma ideia do comportamento do sistema em estudo em relação a quantidade de água disponível a longo prazo e sua garantia associada, para melhor se saber das prioridades a serem adoptadas. Importa ressaltar que, quando as séries de vazões são relativamente longas, os volumes iniciais dos reservatórios passam a ter pequena influência nos resultados.

A simulação é dita contínua pois o modelo executa os cálculos da seguinte forma:

- No primeiro ano, o modelo parte com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos pelo usuário, efectua os cálculos até o final deste ano e no segundo ano parte-se com volumes iniciais iguais aos volumes finais do ano anterior. O procedimento é repetido até ao ano NT e os resultados da simulação são fornecidos de forma contínua, do primeiro ao último ano.

**Planejamento Tático:** aqui o usuário deve, para além do NT, fornecer o número de anos do horizonte de simulação (NH) que durante os quais pretende-se estudar o comportamento do sistema em análise. Esta opção é a mais recomendada quando o objectivo é fazer o planejamento e/ou a operação de sistemas de reservatórios, adoptando-se usualmente dois anos como horizonte de simulação. Os cálculos são efectuados da seguinte forma:

- O modelo parte no primeiro ano com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos pelo usuário e efectua os cálculos sequencialmente para NH anos da série de vazões. Na segunda rodada repete-se o procedimento acima, começando novamente com os volumes iniciais fornecidos pelo usuário, mas partindo do segundo ano da série de vazões, e vai se repetindo o mesmo processo até que seja efectuado o cálculo partindo-se do ano  $NT - NH + 1$  da série de vazões. Os resultados fornecidos são valores estatísticos para todos os meses do horizonte de simulação.

## Opções de cálculo

O Acquanet apresenta duas opções de cálculo, *Calibração* e *Estados Hidrológicos*, que se diferem na forma de dar entrada de dados e na maneira como o modelo efectua os cálculos.

Na opção **Calibração**, o usuário deve fornecer volumes-meta mensais, para cada reservatório, cujos valores podem variar durante todos os anos de simulação. O modelo executa os cálculos com os valores fornecidos inicialmente pelo usuário sem considerar o estado actual do sistema.

A opção de cálculo **Estados Hidrológicos** considera a quantidade de água armazenada nos reservatórios para determinar qual o valor de demanda, de volume meta e as prioridades que serão utilizadas no cálculo de cada um dos meses, aumentando assim a flexibilidade da simulação. Nesta opção, o usuário deve fornecer volumes-meta mensais, constantes ao longo dos anos, que podem variar entre os estados hidrológicos existentes no módulo de alocação. O modelo possibilita ao usuário utilizar até sete estados hidrológicos, fornecendo valores diferentes das grandezas citadas para cada um dos estados. Analiticamente o estado hidrológico é definido pela seguinte expressão:

$$R = \sum_{i \in H} [S_i + I_i] \quad (2.25)$$

**Onde:**

**R:** estado hidrológico;

**H:** conjunto de reservatórios que farão parte do cálculo do estado hidrológico, também chamado de subsistema de reservatórios;

**Si:** volume inicial do reservatório i;

**Ii:** vazão afluente ao reservatório i.

Normalmente, o Acquanet usa três estados hidrológicos que são denominados seco, médio e húmido; ou médio, seco e sequíssimo, no caso de simulações durante um período de vazões baixas. Para a definição de fronteiras entre os três estados, o usuário tem de fornecer dois valores ( $x_1$  e  $x_2$ ) que são utilizados para em cada mês, indicar o estado hidrológico do sistema, através de multiplicação desses valores pelo volume total existente no subsistema de reservatórios.

O estado de menor volume armazenado pode ser chamado de  $E_1$  (seco), o de volume médio de  $E_2$  e o de maior volume de  $E_3$  (húmido). E os limites entre os estados  $E_1$  e  $E_2$  e entre os estados  $E_2$  e  $E_3$ , são respectivamente definidas:

$$E_1 E_2 = x_1 * W \quad (2.26)$$

$$E_2 E_3 = x_2 * W \quad (2.27)$$

**Com:** 
$$W = \sum_{i \in H} S_i \max \quad (2.28)$$

Definidas as fronteiras, os estados hidrológicos seguem as seguintes formas:

$$E_1 : seR < E_1 E_2 \quad (2.29)$$

$$E_2 : seE_1 E_2 \leq R \leq E_2 E_3 \quad (2.30)$$

$$E_3 : seR > E_2 E_3 \quad (2.31)$$

É importante lembrar que ao optar pela opção de cálculo Estados Hidrológicos, deve ser fornecido em função da prioridade desejada, um valor por estado para cada reservatório.

Em relação à constituição do modelo, o Acquanet tem integrado para além do módulo base, mais cinco principais submodelos, **figura 2.14** (PORTO et al., 2003). O módulo base é responsável pela edição/criação do traçado, pela leitura e salvagem dos projectos em estudo e pela integração e comunicação entre os submodelos: (i) *Alocação de Água*; (ii) *Qualidade da Água*; (iii) *Irrigação*; (iv) *Produção de Energia Hidroeléctrica* e (v) *Análise Económica na Alocação*<sup>20</sup>.

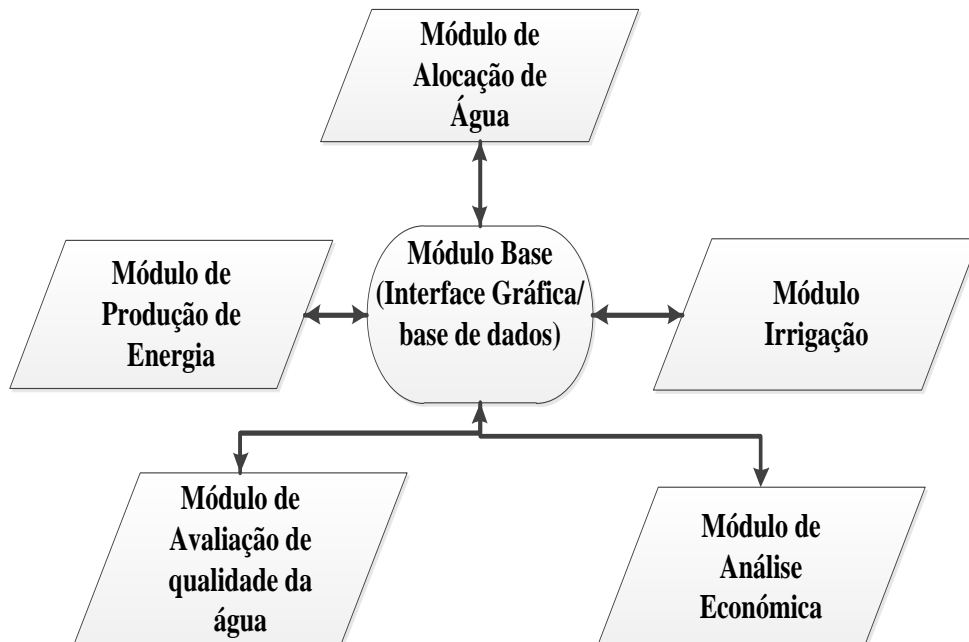
- **Módulo de Alocação:** analisa problemas de alocação de água em bacias hidrográficas, considerando a disponibilidade de água, demandas actuais e futuras, prioridades de uso, restrições operacionais, os déficits e os riscos associados à operação do sistema.
- **Módulo de Irrigação:** simula o reservatório da zona superior do solo, determinando a alocação de água para a irrigação de acordo com as necessidades das culturas. Em

<sup>20</sup> Para mais detalhes sobre o modelo Acquanet, sua constituição, conceito, trabalhos de dissertações e teses baseados no modelo, manuais de auxílio, inclusive o seu Instalador (SetUp) podem ser acessados pelo site do LabSid. Disponível em: <[http://www.labsid.com.br/produto\\_interna.php?id=102](http://www.labsid.com.br/produto_interna.php?id=102)>. Acesso em: 24/06/2014.



períodos de estiagens o modelo calcula a quantidade de água necessária para garantir uma produção ótima.

- **Módulo de Qualidade:** avalia impactos na qualidade da água, associados às mudanças no plano de descarga dos reservatórios, às fontes pontuais de poluição, ou às variações nas condições hidrológicas, mostrando alternativas que podem servir de melhor estratégia de manejo da água.
- **Módulo de Produção de Energia:** este submodelo simula a produção de energia firme desejada no sistema proveniente das descargas dos reservatórios. Pode considerar na sua análise, os usos múltiplos da água, as variações das vazões afluentes e a sazonalidade das demandas.
- **Módulo de Análise Económica para a Alocação:** o submodelo da economia permite a consideração do valor económico na alocação da água, onde através das curvas de benefícios marginais relacionam-se valores económicos marginais com a quantidade de água alocada ou que pode ser fornecida para cada uso.



**Figura 2.14:** Submodelos constituintes do SSD Acquanet.  
**Fonte:** (LabSid<sup>21</sup>).

<sup>21</sup> Labsid. **Aplicação do Sistema de Suporte a Decisão na Gestão de Recursos Hídricos-Modelo Acquanet.** Disponível em: <[http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/index/informe\\_files/Aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20SSD\\_Aquanet\\_S%C3%A3o%20Pedro.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/index/informe_files/Aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20SSD_Aquanet_S%C3%A3o%20Pedro.pdf)>. Acesso em : Junho/2014.

Dos cinco submódulos que constituem o SDD Acquanet, é prioritário para este trabalho apresentar detalhadamente a seguir, o submódulo de *Análise Económica*, que será ferramenta principal para a análise dos benefícios económicos obtidos pelos usuários agrícolas considerados no sistema em estudo.

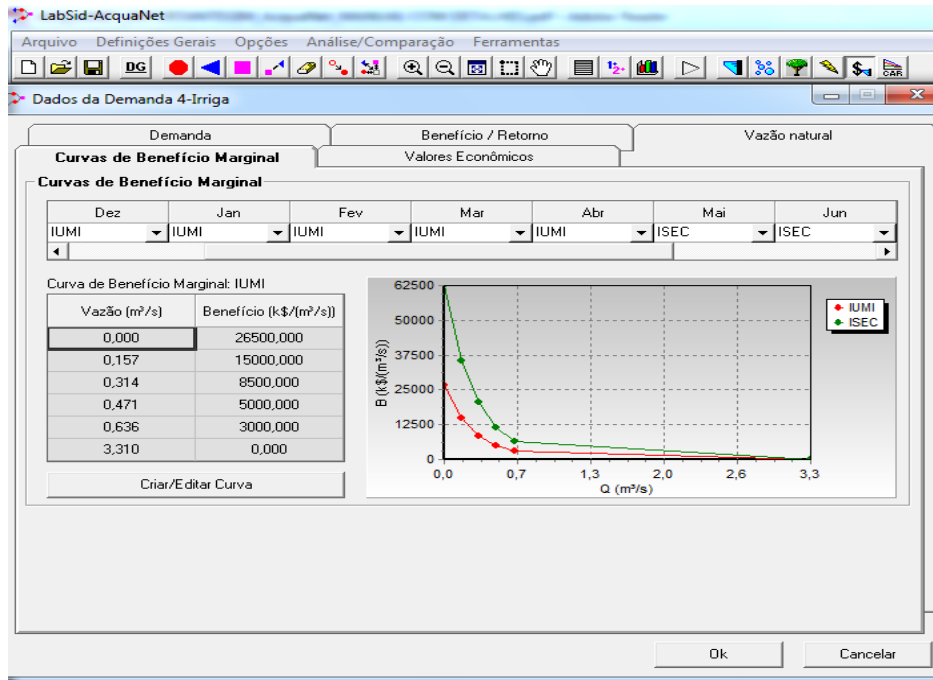
### **2.3.2.2 Módulo de Análise Económica do SSD Acquanet**

Devido às tendências do agravamento do quadro de escassez dos recursos hídricos e com objectivos de introduzir valores monetários nas decisões de alocação deste recurso, na óptica de maximização dos seus benefícios líquidos económicos (BALTAR, 2001 apud PORTO et al., 2003), o Acquanet tem integrado a ferramenta de módulo de Análise Económica, cujo principal intuito é distribuir as vazões entre os nós (demandas) existentes na rede de forma a incrementar os seus retornos económicos. Com a aplicação desta ferramenta é possível verificar o impacto económico das mais diversas decisões tomando em afeição as restrições hidráulicas, regras de operação do sistema e o gerenciamento da oferta e da demanda de água.

Segundo a descrição de Porto et al. (2003), o módulo de Análise Económica faz a consideração do valor económico associado aos diversos usos da água na bacia através da utilização de curvas de benefícios marginais que podem ser fornecidos para cada uso da água. Estas curvas devem relacionar valores económicos marginais com quantidades de água alocada para cada uso (exemplo: curvas de demanda, curvas de valor do produto marginal da água).

Ainda considerando as asserções dos autores a posterior citados, a determinação ou construção das curvas de benefícios deve tomar em conta a variabilidade do comportamento económico da demanda por água, podendo desta feita haver necessidade de se formar essas curvas de acordo com o tipo de demanda e consideração das variações sazonais, onde pode ser necessária a utilização de mais de uma curva para um mesmo uso (**figura 2.15**).

Esse submodelo de economia apresenta diversas similaridades com a interface do módulo de alocação e a forma de operação dos reservatórios, porém, com algumas características específicas. Como particularidades próprias deste submodelo, deve-se: definir se a demanda é ou não económica; fornecer as curvas de benefício marginal utilizadas em cada mês ou estado hidrológico, e nas demandas não económicas atribuir valores de benefícios em função das suas prioridades no sistema em estudo (PORTO et al., 2003).



**Figura 2.15:** Imagem ilustrativa das curvas de benefício marginal no Acquanet.  
**Fonte:** (BALTAR 2001, apud PORTO et al. 2003, apostilas de aula).

A curva de demanda ou de benefício marginal deve sempre ser ajustada a uma expressão exponencial, conforme **equação** 2.14, pelo facto de ser o formato da curva aceite pelo módulo de Análise Económica, ter carácter decrescente em todo o seu domínio de validade, e ser assintótico ao eixo das abcissas (não apresenta valores negativos para a variável  $y$ ) (MACHADO,2009).

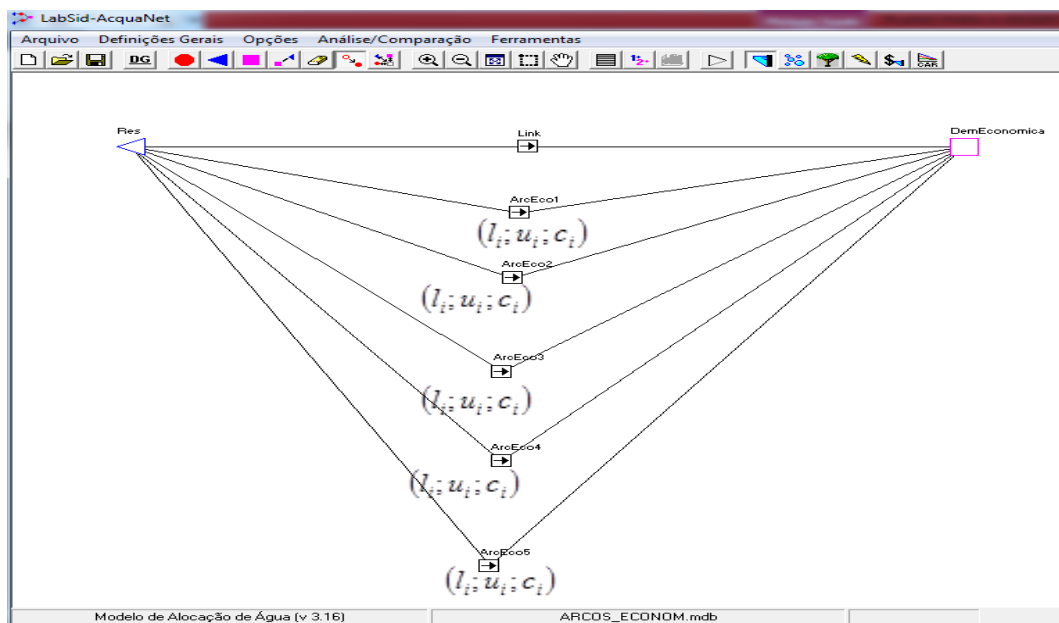
$$Bmg = a * e^{(-b*Q)} \quad (2.32)$$

**Sendo:**  $Bmg$  - benefício marginal da água em Mt/ (m³/s);

$a$  e  $b$  - são coeficientes da função;

$Q$  - vazão que flui pelo arco em m³/s.

Porto et al. (2003), apontam que por esta curva de benefícios marginais não ser linear, o módulo de Análise Económica aproxima-a em segmentos de recta, formando cinco novos arcos fictícios, chamados de arcos económicos (**figura** 2.16), o que impõe a divisão da curva original em cinco partes, definidas por seis pares de pontos (**figura** 2.11). Da curva linearizada, o módulo associa um arco económico para cada um dos novos trechos. E cada um destes arcos deve possuir valores próprios de  $l_i, u_i, c_i$ , capacidade mínima, capacidade máxima e o seu custo, respectivamente.



**Figura 2.16:** Configuração dos arcos económicos no Acquanet.  
**Fonte:** (PORTO et al. 2003, adaptado pelo autor)

Para Porto et al. (2003), a capacidade mínima,  $(l_i)$ , em cada um dos arcos é igualada a zero para permitir a passagem de qualquer quantidade de vazão alocada pelo sistema e a capacidade máxima  $(u_i)$  é obtida através da **equação** 2.33, fazendo a diferença entre dois valores consecutivos de vazão que compõe a curva de benefícios marginais. O custo é obtido segundo a expressão (2.34), que faz a transformação negativa dos benefícios obtidos nos arcos por onde passa a água destinada a manutenção dos volumes meta e atendimento das demandas. Para além destes parâmetros, em cada um dos arcos económicos, é necessária a obtenção ou atribuição do valor da demanda económica, que será igual a vazão máxima existente na curva de benefício marginal.

O módulo de Análise Económica para minimizar o custo nos arcos e consequentemente maximizar o benefício global da rede, utiliza o algoritmo *Out-of-Kilter*, tal como outros submodelos do Acquanet. De referir que, o custo total de um arco varia linearmente com o fluxo transportado, ou seja, o custo por unidade de fluxo que percorre o arco é constante.

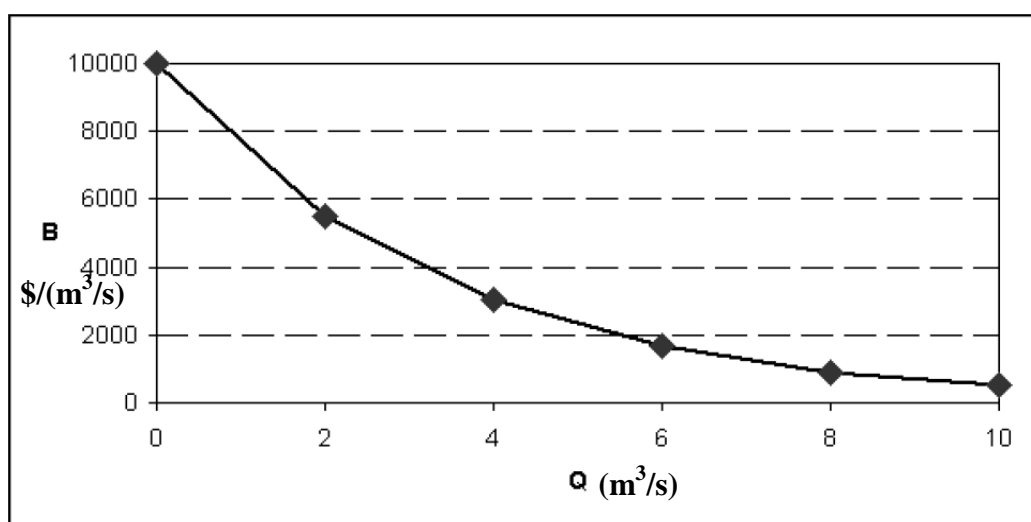
$$u_i = Q_{i+1} - Q_i \quad (2.33)$$

$$C_i = -Benef_i \quad (2.34)$$

**Onde:**  $u_i$  - capacidade máxima do arco económico ( $m^3/s$ );

$Q_i$  - vazão em  $m^3/s$ .

Para a determinação dos benefícios marginais em cada um dos arcos económicos, divide-se o benefício total do trecho pela capacidade máxima do respectivo arco. O valor do benefício total, em cada arco, é obtido através da integral da curva de benefício marginal calculada no trecho respectivo (**figura 2.17**).



**Figura 2.17:** exemplo de uma curva de benefício marginal linearizada.

**Fonte:** (PORTO et al., 2003).

Numericamente, o benefício marginal pode ser determinado por meio da **equação (2.35)**, que será igual a área sob um determinado trecho ao longo da curva.

$$Benef_i = \frac{Area_i}{u_i} = \frac{(B_i + B_{i+1}) * u_i}{2} * \frac{1}{u_i} = \frac{(B_i + B_{i+1})}{2} \quad (2.35)$$

**Sendo:**  $Benef_i$  - benefício marginal no trecho ( $$/(\text{m}^3/\text{s})$ );

$Area_i$  - área sob o trecho (\$);

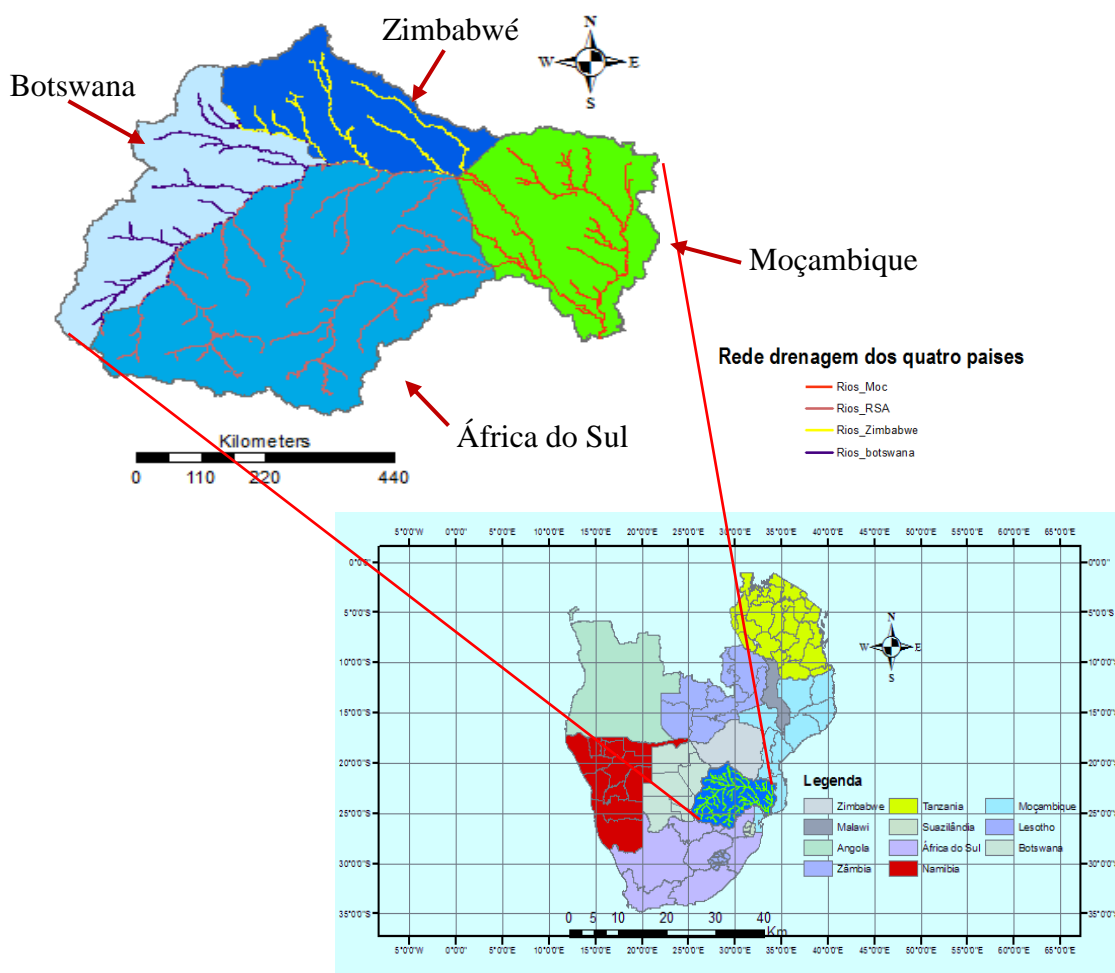
$B_i$  e  $B_{i+1}$  - são benefícios consecutivos do trecho ( $$/(\text{m}^3/\text{s})$ ).

## CAPÍTULO III – ESTUDO DE CASO: Parte moçambicana da bacia do rio Limpopo

### 3.1 Localização geográfica da bacia do rio Limpopo

A bacia hidrográfica do rio Limpopo, o segundo maior rio da África Austral, situa-se aproximadamente entre os paralelos 22° e 26° Sul e os meridianos 26° e 35° Este. A parte moçambicana, estudada neste trabalho, localiza-se entre os paralelos 21° e 25° Sul e os meridianos de 31° e 35° Este (DNA<sup>22</sup>,1996).

Esta bacia é compartilhada por quatro países (**figura 3.1**): África do Sul, Moçambique, Botswana e Zimbabué. Ela nasce a Oeste da cidade de Pretória, na África do Sul, onde o seu rio é formado pela confluência dos rios *Great Marico* e *Crocodilo*, a cerca de 1500m de altitude<sup>23</sup>.



**Figura 3.1:** Divisão da bacia hidrográfica do Limpopo entre os quatro países. (Fonte: elaborado pelo autor; 2015).

<sup>22</sup> DNA – Direcção Nacional de Águas-Moçambique.

<sup>23</sup> *Limpopo Basin Strategic Plan for Reducing Vulnerability to Floods and Droughts. Draft for Discussion with Riparian Governments.* UN-HABITAT/UNEP. July 2007. pp 23.

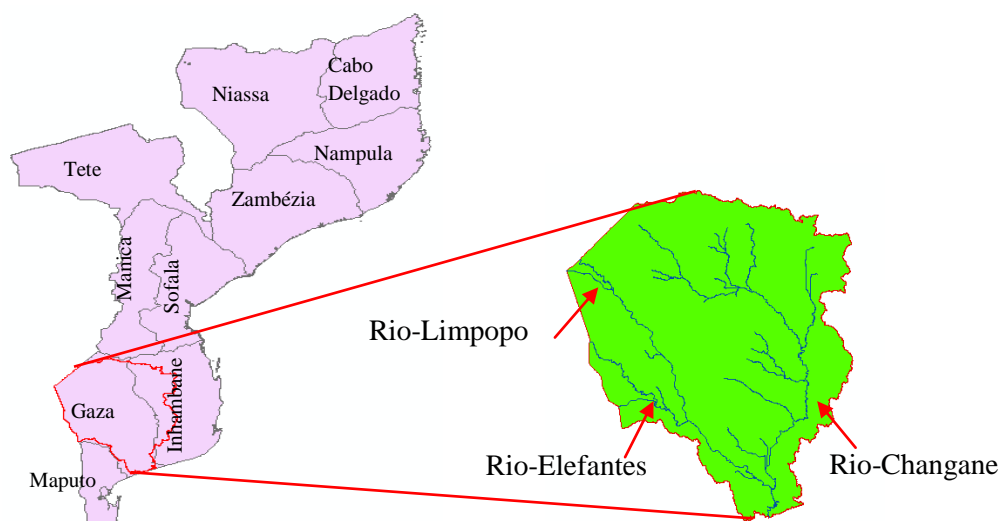
O rio Limpopo, com uma extensão de 1770 km e uma área de 408 250 Km<sup>2</sup> distribuída entre os quatro países (**tabela 3.1**), flui desde a província do Limpopo, na África do Sul, passa por Moçambique e escoar até o oceano Índico, LBPTC<sup>24</sup> (2010).

**Tabela 3.1:** Distribuição das respectivas áreas entre os quatro países pertencentes a bacia do Limpopo

<b>País</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
África do Sul	184 150	45
Moçambique	79 800	19.5
Botswana	81 400	20
Zimbabwé	62 900	15.5
<b>Total</b>	<b>408250</b>	<b>100</b>

Fonte: (LBPTC, 2010).

A parte da bacia do Limpopo em Moçambique possui uma área de 79.800 km<sup>2</sup>. Ocupa toda província de Gaza e uma pequena parte da província de Inhambane, englobando três grandes sub-bacias (**figura 3.2**). A sub-bacia do Changane localiza-se inteiramente no território nacional, em uma zona caracterizada por ser árida a semi-árida e com pouca chuva. A sub-bacia do Elefantes possui um rio que nasce nas zonas altas da África do Sul, onde há índices pluviométricos mais elevados. E a sub-bacia do Limpopo, que possui o curso principal do rio Limpopo dentro do território moçambicano.



**Figura 3.2:** Imagem da parte moçambicana da bacia do Limpopo.

Fonte. (Elaborado pelo autor; 2015).

<sup>24</sup> **LBPTC – LIMPOPO BASIN PERMANENT TECHNICAL COMMITTEE.** – “tradução nossa” Comissão Técnica Permanente da Bacia do Limpopo.

### 3.2 Clima

Conforme Brito et al. (2006), o clima na bacia do rio Limpopo (BRL), como em toda África Austral, é fortemente influenciado pela zona de altas pressões localizada no oceano Índico à leste e, no oceano Atlântico, à oeste. Esta região da bacia é caracterizada pela presença de duas estações distintas: a estação seca e fria, entre abril e setembro; e a quente e húmida, de outubro a março.

A BRL apresenta uma variação climática de tropical seco de savana a quente seco de estepe, esfriando as temperaturas nas zonas montanhosas (LBPTC, 2010). Na parte moçambicana da bacia, o clima varia de semi-árido húmido a árido, respectivamente da costa para o interior.

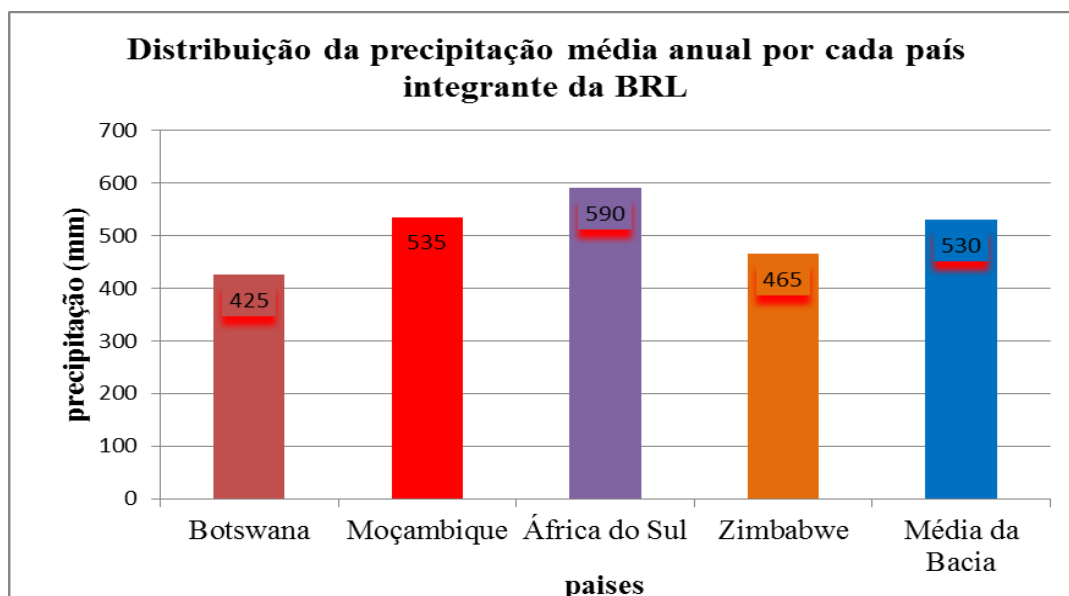
Segundo a classificação climática de Koppen, na região de Xai-Xai, onde se localiza o regadio do Baixo Limpopo, encontra-se o tipo “tropical chuvoso de savana (AW)”;

nas regiões do regadio de Chókwè o clima é do tipo “seco de estepe (BSW)” e, em Massingir, onde se encontra a única barragem da regularização, é do tipo “seco de estepe com inverno seco (BSW)” (DNA, 1996).

### 3.3 Precipitação e Evapotranspiração

A precipitação média anual na bacia do rio Limpopo é de 530 mm por ano (**figura 3.3**), variando entre 200 a 1200 mm/a. No território moçambicano, com sua média anual de 535 mm, a chuva varia entre 1000 mm na zona costeira e 350 mm em Pafuri, apresentando uma grande variabilidade interanual, com um coeficiente de variação de cerca de 40% (REDDY, 1986, apud BRITO et al., 2006).





**Figura 3.3:** Distribuição da precipitação média anual por cada país integrante da BRL  
**Fonte:** (Adaptado pelo autor)<sup>25</sup>

O regime das chuvas na BRL segue as duas estações distintas ao longo do ano ora apresentadas. A época úmida e quente é o período com muitas chuvas, que chegam a representar 76 a 84% do total da precipitação anual, registando-se o pico desta estação no mês de janeiro (BRITO et al., 2006). E a estação seca e fria, com cerca de 24 a 26% do total da precipitação anual. As chuvas com maior intensidade são registadas nas regiões montanhosas da África do Sul e, as de baixa intensidade, ao longo do rio, principalmente entre o Zimbábwe e a África do Sul.

A bacia do Limpopo, influenciado pelo clima que caracteriza a região, apresenta uma evapotranspiração média que varia entre 1000 a 2000 mm por ano.

### 3.4 Principais infraestruturas hidráulicas na parte moçambicana da BRL

#### 3.4.1 Barragem de Massingir

A barragem de Massingir (**figura 3.4**), o maior empreendimento hidráulico e o único reservatório com capacidade de regularização de vazões na área de estudo, localiza-se no rio Elefantes, a cerca de 30 km a jusante da fronteira com a África do Sul e a 30 km do limite da província de Maputo (DNA, 1996).

<sup>25</sup> Dados disponíveis em:

<<http://www.limpoporak.com/pt/rio/clima+e+meteorologia/climate+of+the+limpopo+river+basin/climatic+patterns.aspx?print=1>>. Acesso em: 07/01/15.



**Figura 3.4:** Imagem ilustrativa da barragem de Massingir

**Fonte:** (Disponível em:

[https://www.google.com.br/?gfe\\_rd=cr&ei=uOsyVKvVE4uk8we84oCwDg&gws\\_rd=ssl#q=imagem+barragem+massingir](https://www.google.com.br/?gfe_rd=cr&ei=uOsyVKvVE4uk8we84oCwDg&gws_rd=ssl#q=imagem+barragem+massingir); Acesso: 06/10/2014).

#### **3.4.1.1 Regras actuais de operação da barragem de Massingir e suas principais características**

Conforme DNA (1996), a barragem de Massingir foi construída com o principal objectivo de permitir a regularização de caudais para a irrigação agrícola e outros secundários: controlar cheias e a intrusão salina no estuário; produzir energia hidreléctrica e assegurar o abastecimento de água nas áreas urbanas e rurais dentro da bacia. Esta infra-estrutura hidráulica, projectada para que a sua represa armazenasse 2 840 Mm<sup>3</sup> à cota de 125 m, com uma superfície inundada de 151 km<sup>2</sup>, devido a problemas estruturais, a sua capacidade está limitada a uma cota de 115 m, que permite actualmente um volume de armazenamento de 1 460 Mm<sup>3</sup>.

A operação actual desta barragem segue a forma simples definida por McMahon & Mein (1978), em que independentemente da quantidade de água disponível no reservatório, e que estação do ano, sempre que tiver água suficiente (acima do volume mínimo), o volume liberado do reservatório procura sempre igualar as quantidades demandadas para a irrigação agrícola, principal usuário, e outros usos. Entretanto, segundo DNA (1996), na época chuvosa, período compreendido entre 01 de Dezembro a 31 de março, a cota de água na represa não deve ultrapassar 113 m, o que permite a disponibilidade de um volume de 236 Mm<sup>3</sup> para o encaixe da onda de cheia, possibilitando o amortecimento de eventuais picos de

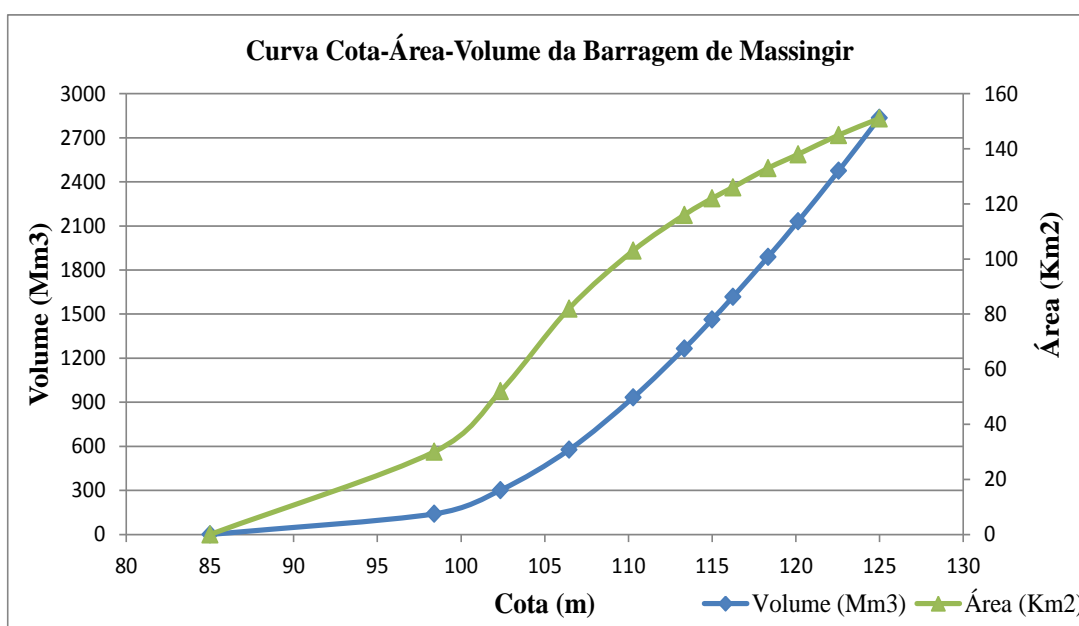
cheias e minimização dos seus possíveis efeitos a jusante da barragem. A tabela 3.2 apresenta de forma resumida, as principais características físicas da barragem.

**Tabela 3.2:** Principais características da barragem de Massingir.

Características	Quantidade	Unidade
Comprimento	4600	M
Altura	46	M
Nível Pleno de Armazenamento (NPA)	125	M
Nível da soleira do descarregador	115	M
Nível Máximo de Cheia (NMC)	128.5	M
Nível Mínimo de exploração (NME)	85	M
Volume de Armazenamento (NPA)	2840	Mm <sup>3</sup>
Volume de Armazenamento (115)	1460	Mm <sup>3</sup>
Volume Morto	140	Mm <sup>3</sup>
Nível mínimo para a irrigação	95	M
Área máxima de superfície inundada	151	Km <sup>2</sup>
Caudal máximo do descarregador de cheias	8400	m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo de descarga de fundo	1560	m <sup>3</sup> /s

Fonte: (DNA, 1996).

Ainda sobre a barragem de Massingir, apresenta-se a seguir a curva cota-área-volume (figura 3.5), que foi determinada segundo as fórmulas actualmente utilizadas pela ARA-Sul na operação do reservatório de Massingir. **Área** =  $43,66437 * (H-101,5) ^ 0,3937$ ; se  $H > 105,96$  e/ou **Área** =  $0,025299 * (H-82) ^ 2,53338$ ; se  $H > 85$ . E o **volume** =  $31,33 * ((H-101,5) ^ 1,3937) + 284,864$ ; se  $H > 105,96$  e/ou **volume** =  $0,00716 * (H-82) ^ 3,53338$ ; se  $H > 85$ .



**Figura 3.5:** Curva Cota-Área-Volume da Barragem de Massingir.

### 3.4.2 Açude de Macarretane

O açude de Macarretane (**figura 3.6**) localiza-se ao longo do rio Limpopo, 16 km a montante da cidade de Chókwè, e a cerca de 200 km da cidade de Maputo. Este açude foi construído com objectivo de assegurar o abastecimento de água ao perímetro irrigado de Chókwè, através de uma pequena regularização de base semanal e, sobretudo, para a elevação do nível das águas para a tomada do canal geral do regadio (DNA, 1996).



**Figura 3.6:** Imagem do açude de Macarretane ao longo do rio Limpopo.

**Fonte:** (Disponível em:

[https://www.google.com.br/?gfe\\_rd=cr&ei=uOsyVKvVE4uk8we84oCwDg&gws\\_rd=ssl#q=imagem+barragem+macarretane](https://www.google.com.br/?gfe_rd=cr&ei=uOsyVKvVE4uk8we84oCwDg&gws_rd=ssl#q=imagem+barragem+macarretane)), Acesso em: 06/10/2014).

#### **Principais características do açude de Macarretane**

Este açude, com uma pequena capacidade de armazenamento de cerca de 4 Mm<sup>3</sup>, é de tipo móvel e equipado com 39 comportas automáticas, que permitem à barragem armazenar água a uma cota máxima de 97,20 m a montante para o abastecimento das tomadas do regadio de Chókwè (HICEP, 2000).

A ponte-barragem de Macarretane, com um comprimento de 650 m, funciona com base nos caudais provenientes da barragem de Massingir e do rio Limpopo e, as suas comportas na operação normal conseguem elevar o nível do rio a uma altura de 3.20 m em relação a soleira da barragem (DNA, 1996). Na **tabela 3.3** estão resumidas as principais características do açude de Macarretane.

**Tabela 3.3:** Resumo das principais características do açude de Macarretane.

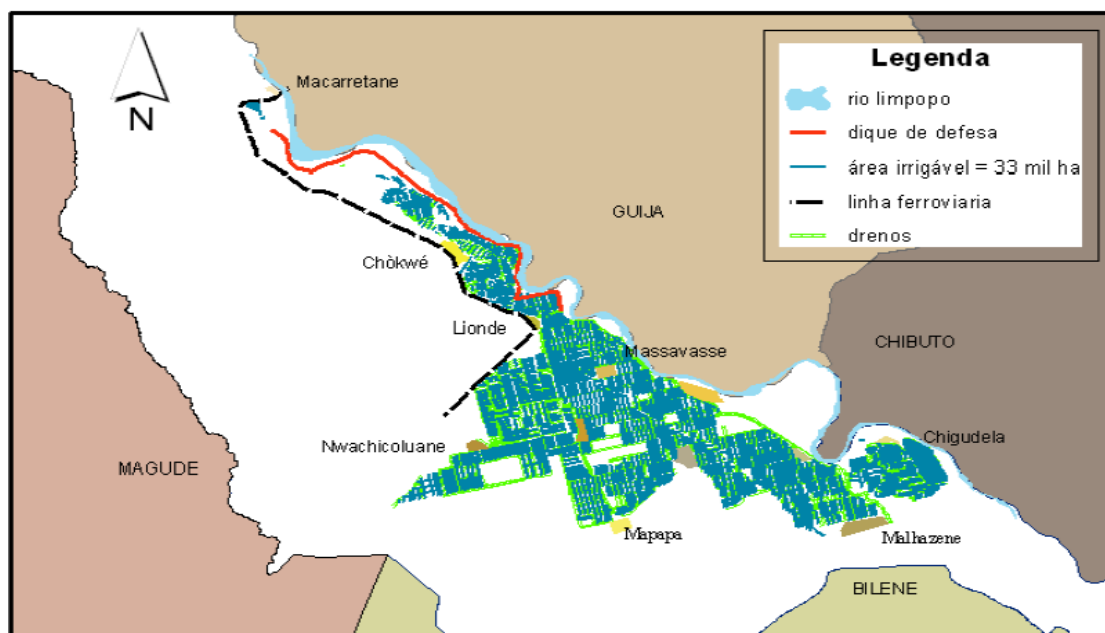
<b>Características</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Capacidade de Armazenamento	4	Mm <sup>3</sup>
Comprimento	650	M
Número de comportas	39	nr.
Altura útil da comporta	3.8	M
Nível normal de retenção de água	97	M

**Fonte:** (DNA,1996).

### 3.4.3 Regadio do Chókwè

O perímetro irrigado do Chókwè, também designado por Eduardo Mondlane (**figura 3.7**), é o maior regadio do país, localizando-se administrativamente na província de Gaza, a cerca de 200 km ao norte da cidade de Maputo (DNA, 1996). O regadio abrange uma área de cerca de 33 mil ha, dos quais, mais de 22 mil aproveitáveis (LBPTC, 2010). Actualmente, em uma área com um pouco mais 13 mil ha, estão sendo desenvolvidas actividades agrícolas, tendo como principais culturas o arroz, o milho, o tomate e feijões.

O regadio estende-se na margem direita do rio Limpopo (HICEP, 2000), cobrindo cerca de 8 km de extensão a montante do açude de Macarretane e 50 km a jusante deste, com uma largura que varia de 3 à 18 km.



**Figura 3.7:** Mapa ilustrando o regadio do Chókwè ao longo do rio Limpopo.

**Fonte:** (HICEP, 2012).

Este regadio tem como principal constituição (**tabela 3.4**) o açude de derivação de Macarretane; um dique de defesa; e um canal geral de adução com 14 km de comprimento e uma capacidade actual de  $19 \text{ m}^3/\text{s}$ . Possui ainda dois canais principais: o Direito, um canal de terra sem revestimento, com 37 km de comprimento, dimensionado para abastecer os canais secundários com caudais entre  $0.14\text{-}0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ; e o canal Esquerdo, um canal parcialmente revestido de 13.2 km, com um caudal principal de  $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , que alimenta directamente a rede dos canais terciários (HICEP, 2000).

**Tabela 3.4:** Principais características do regadio do Chókwè.

<b>Características</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Canal Geral	1	n°
Comprimento do canal Geral	14	Km
Caudal do canal Geral	19	m <sup>3</sup> /s
Canais principais (Direito e Esquerdo)	2	n°
Comprimento do canal principal Direito	37	Km
Caudal do canal principal Direito	0.14-0.4	m <sup>3</sup> /s
Comprimento do canal principal Esquerdo	13.2	Km
Caudal do canal principal Esquerdo	0.8	m <sup>3</sup> /s

**Fonte:** (HICEP, 2000).

### **3.4.4 Regadio do Baixo Limpopo**

O regadio do Baixo Limpopo, também conhecido por regadio de Xai-Xai, encontra-se na província de Gaza, distrito de Xai-Xai, na sua maioria, a sul da margem esquerda do rio Limpopo (**figura 3.6**), abrangendo uma área de um pouco mais de 12 mil ha (COBA et al, 2004), num potencial irrigável de 70 mil ha (UGBL, 2013). Este regadio, segundo maior perímetro irrigado nesta província, depois do regadio do Chókwè, foi construído com o objectivo de beneficiar algumas cooperativas nos sistemas de bombagem de Pomela, de Chimbomanine e de Magula (BRITO et al., 2006).

#### **Principais características do RBL**

O perímetro irrigado do Baixo Limpopo, para além dos sistemas de bombagem anteriormente mencionados (Pomela, Chimbomanine e de Magula), possui o sistema de rega nos Machongos e outros vários sistemas de rega de pequenos e médios agricultores privados.

As três estações de bombagem (Pomela, Chimbomanine e de Magula), estão equipadas por duas electrobombas cada uma, com capacidade de captar um pouco mais de 500 l/s de água no rio Limpopo. Segundo COBA et al (2004), esses sistemas de bombagem têm dupla função: de *captação da água para rega*, bem como de *derivação de águas pluviais, de descarga e drenagem do perímetro*. Segundo a mesma fonte, estes sistemas abastecem água para o sector familiar e privado nas actividades agrícolas das seguintes culturas: milho, arroz, amendoim, feijões, mandioca e batata-doce.

### 3.5 Disponibilidades e demandas dos recursos hídricos na parte moçambicana da BRL

#### 3.5.1 Disponibilidades

Moçambique, pese embora possuir uma rede hidrográfica considerável em termos de disponibilidades hídricas, encontra-se em uma situação vulnerável por se localizar a jusante de todos os países com os quais partilha nove bacias, incluindo a do rio Limpopo (GOMES et al., 1998).

Na região de estudo as principais fontes de água são os dois principais rios que fluem desde a África do Sul para dentro do território nacional: o rio Elefantes, onde está a barragem de Massingir, e o rio do Limpopo, para além de alguns afluentes locais de regime efémero, incluindo o rio Changane. Contudo, nestes dois principais rios, não há estimativas exactas sobre as disponibilidades de água, isto devido a várias falhas nas medições do fluxo dentro do país e a falta de estudos para compreensão de até que ponto as elevadas abstracções registadas a montante, sobretudo na África do Sul, afectam as disponibilidades de água em Moçambique (VAN DER ZAAG, et al., 2010).

Em relação as águas superficiais, o rio Limpopo, originalmente de regime perene, apresenta um escoamento total médio anual de cerca de 5 200 Mm<sup>3</sup>. Deste escoamento, estima-se que a parte moçambicana da bacia contribui com apenas 400 Mm<sup>3</sup>, correspondentes a cerca de 10% do escoamento total anual do rio Limpopo (BRITO et al. 2006). Importa ressaltar que o rio Limpopo chega a secar por três ou quatro meses em um ano normal, podendo atingir até oito meses ao ano, sobretudo na região de estudo, devido ao aumento e elevadas abstracções nos países a montante, para além de fluxos com problemas de qualidade da água<sup>26</sup>.

Na região do Chókwè, após a confluência do rio Elefantes com o rio Limpopo, a contribuição no escoamento total dos rios Limpopo e do Elefantes é estimado em 65% e 34 % respectivamente (SAFEGE, 1995, apud. BRITO; et al. 2006). Só para ilustrar algumas estações hidrométricas, na **tabela 3.5** são apresentadas características de escoamento médio anual de três estações, Combumone, Chókwè e Massingir.

---

<sup>26</sup> *FAO-Water resources and use: International Water Issues. Aquastat., Mozambique, 2005.* Disponível em: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/MOZ/MOZ-CP\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/MOZ/MOZ-CP_eng.pdf). Acesso: julho/2014.

**Tabela 3.5:** Características de escoamento médio anual de algumas estações hidrométricas na BRL.

<b>Estação hidrométrica</b>	<b>Local</b>	<b>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Escoamento (Mm<sup>3</sup>)</b>
E33	Combumone	257200	3340
E35	Chókwè	342000	5200
E607	Barragem de Massingir	68450	1740

Fonte: (BRITO et al., 2006).

Em termos de disponibilidades actuais para as actividades agrícolas, segundo UGBL (2013), a região de estudo conta sempre com o volume armazenado na barragem de Massingir, que agora, devido aos problemas estruturais, opera abaixo do seu nível pleno de armazenamento, chegando a ter um volume disponível de 1460 Mm<sup>3</sup>.

### **3.5.2 Demandas dos recursos hídricos na parte moçambicana da bacia do Limpopo**

Na parte moçambicana da bacia do rio Limpopo, a maior demanda de água é para a irrigação agrícola (LBTPC, 2010), sem serem menos importantes as necessidades hídricas urbanas (cidade de Chókwè e de Xai-Xai) e rurais dispersas na bacia, que na sua maioria exploram águas subterrâneas. Há que considerar também a vazão mínima de 7.5 m<sup>3</sup>/s (19,44 Mm<sup>3</sup>/mês) estabelecida como forma de evitar a intrusão salina (DNA, 1996), para além das demandas para dessedentação animal, que segundo DPAG-SPP<sup>27</sup> (2013), conta-se actualmente com cerca de 123.739 cabeças de gado bovino que bebe água na bacia.

Destas demandas de água que se verificam na BRL, importa referir que para este estudo dá-se maior concentração para avaliação económica dos requerimentos hídricos para a irrigação agrícola, principal usuário naquela área da bacia e objecto de análise para o objectivo proposto.

Na área de estudo, actualmente estão sendo explorados um pouco mais de 33 mil ha de área irrigada (UGBL, 2013), que pelas estimativas das necessidades hídricas para a agricultura feitas neste estudo baseando-se nas principais culturas (arroz, milho, tomate e feijões), de uma forma agregada, chegam agora a demandar cerca de 676 Mm<sup>3</sup> por ano, e até um pouco mais de 909 Mm<sup>3</sup>/ano quando adicionadas as demandas do caudal ecológico, calculado em 233 Mm<sup>3</sup> ao ano (**tabela 3.6**).

<sup>27</sup> DPAG-SPP: Direção Provincial da Agricultura-Gaza, Serviços Provincias da Pecuária.



**Tabela 3.6:** Actuais demandas mensais de água na bacia do Limpopo.

Nr.	Usuário (nó de demanda)	Principais Culturas	Área (ha)		Necessidades hídricas médias (m3/ha/ano)	Necessidades hídricas totais por Usuário (Mm3/ano)	% da área Potencial	
			Potencial	Actual Irrigada				
1	Regadio do Chókwè	Arroz e Outras (milho, tomate e feijão)	23.848	13.000	20.500	266,5	54,51	
2	Regadio do Baixo Limpopo	Arroz e Outras (milho, tomate e feijão)	70.000	12.000	20.500	246	17,14	
3	Associações Agrícolas e outros	Arroz e Outras (milho, tomate e feijão)	8.000	8.000	20.500	164	100	
<b>Soma</b>	Demanda Ecológica						233,28	
			<b>101.848,00</b>	<b>33.000,00</b>	<b>61.500,00</b>	<b>909,78</b>		

Para a irrigação agrícola, em termos de projecções futuras, segundo as estimativas, espera-se um incremento de mais de 2 058 Mm<sup>3</sup> na demanda anual, em resposta ao aumento de mais uma área de 104 348 ha da expansão de exploração de mais áreas das actuais culturas e implementação dos projectos de produção de cana-sacarina e a cultura de banana (tabela 3.7).

**Tabela 3.7:** Futuras demandas de água na bacia do Limpopo.

Nr.	Usuário (nó de demanda)	Culturas básicas	Área (ha)			Necessidades hídricas (m3/ha/ano)	Necessidades hídricas totais por Usuário (Mm3/ano)	% da área Potencial
			Potencial	Actual Irrigada	Incremento Futuro até (2017)			
1	HICEP, EP	Arroz e Outras (milho, tomate e feijão)	23.848	13.000	10.848	20.500	222,38	45,5
2	RBL, EP	Arroz e Outras (milho, tomate e feijão)	70.000	12.000	30.000	20.500	615,00	42,9
4	Associações Agrícolas e outros	Arroz e Outras (milho, tomate e feijão)	8.000	8.000	0	20.500	0,00	0,0
3	TAFC, Ltd	Banana orgânica	500	0	500	17.000	8,50	100
5	Agri-Sul, Lda	Cana-sacarina	3.500	0	3.500	19.250	67,38	100
6	CAM	Cana-sacarina	22.500	0	22.500	19.250	433,13	100
7	MAI, SA	Cana-sacarina	37.000	0	37.000	19.250	712,25	100
<b>Soma</b>			<b>165.348</b>	<b>33.000</b>	<b>104.348</b>	<b>136.250,00</b>	<b>2.058,63</b>	

E em termo de estimativas das demandas totais futuras na parte moçambicana da bacia do Limpopo, até 2017, se assumir uma exploração a 100% das áreas potencialmente irrigáveis em quase todos os usuários, incluindo a entrada dos novos projectos e consideração da vazão

mínima da demanda ecológica, pode se esperar um requerimento futuro de um pouco mais de 2 968 Mm<sup>3</sup> ao ano (**tabela 3.8**).

**Tabela 3.8** Estimativa das demandas totais futuras na parte moçambicana da bacia do rio Limpopo

Nr.	Usuário (nó de demanda)	Culturas básicas	Área (ha)				Necessidades hídricas (m <sup>3</sup> /ha/ano)	Necessidades hídricas totais por Usuário (Mm <sup>3</sup> /ano)	% da área Potencial
			Potencial	Actual Irrigada	Projeção Irrigada até 2017	Total Futura (2017)			
1	HICEP, EP	Arroz e Outras (milho, tomate e feijão)	23.848	13.000	10.848	23.848	20.500	488,88	100
2	RBL, EP	Arroz e Outras (milho, tomate e feijão)	70.000	12.000	30.000	42.000	20.500	861,00	60
4	Associações Agrícolas e outros	Arroz e Outras (milho, tomate e feijão)	8.000	8.000	0	8.000	20.500	164,00	100
3	TAFC, Ltd	Banana orgânica	500	0	500	500	17.000	8,50	100
5	Agri-Sul, Lda	Cana-sacarina	3.500	0	3.500	3.500	19.250	67,38	100
6	CAM	Cana-sacarina	22.500	0	22.500	22.500	19.250	433,13	100
7	MAI, SA	Cana-sacarina	37.000	0	37.000	37.000	19.250	712,25	100
8	Demanda Ecológica							233,28	
<b>Soma</b>			<b>165.348</b>	<b>33.000</b>	<b>104.348</b>	<b>137.348</b>	<b>136.250,00</b>	<b>2.968,41</b>	

Vale realçar que, estas estimativas das necessidades hídricas das culturas, excepto a cultura do arroz (HICEP, 2012) e a cana-sacarina (MAI-SA, 2014), as demandas das outras culturas seguem a tabela dos valores médios aproximados das necessidades de água para diferentes cultivos proposta pela FAO (**tabela 3.9**). O valor total apresentado nas necessidades hídricas (m<sup>3</sup>/ha/ano) do arroz e de outras culturas constitui a soma entre os volumes demandados por ciclo na cultura do arroz, 15 000 m<sup>3</sup>/ha, estimado pela HICEP, e a média dos volumes demandados pelos cultivos do milho, tomate e feijões, (5 500 m<sup>3</sup>/ha), apresentados na tabela da FAO. E o volume da cultura da banana orgânica, 17 000 m<sup>3</sup>/ha, é a média entre a faixa de variação das demandas de água deste cultivo por ciclo.

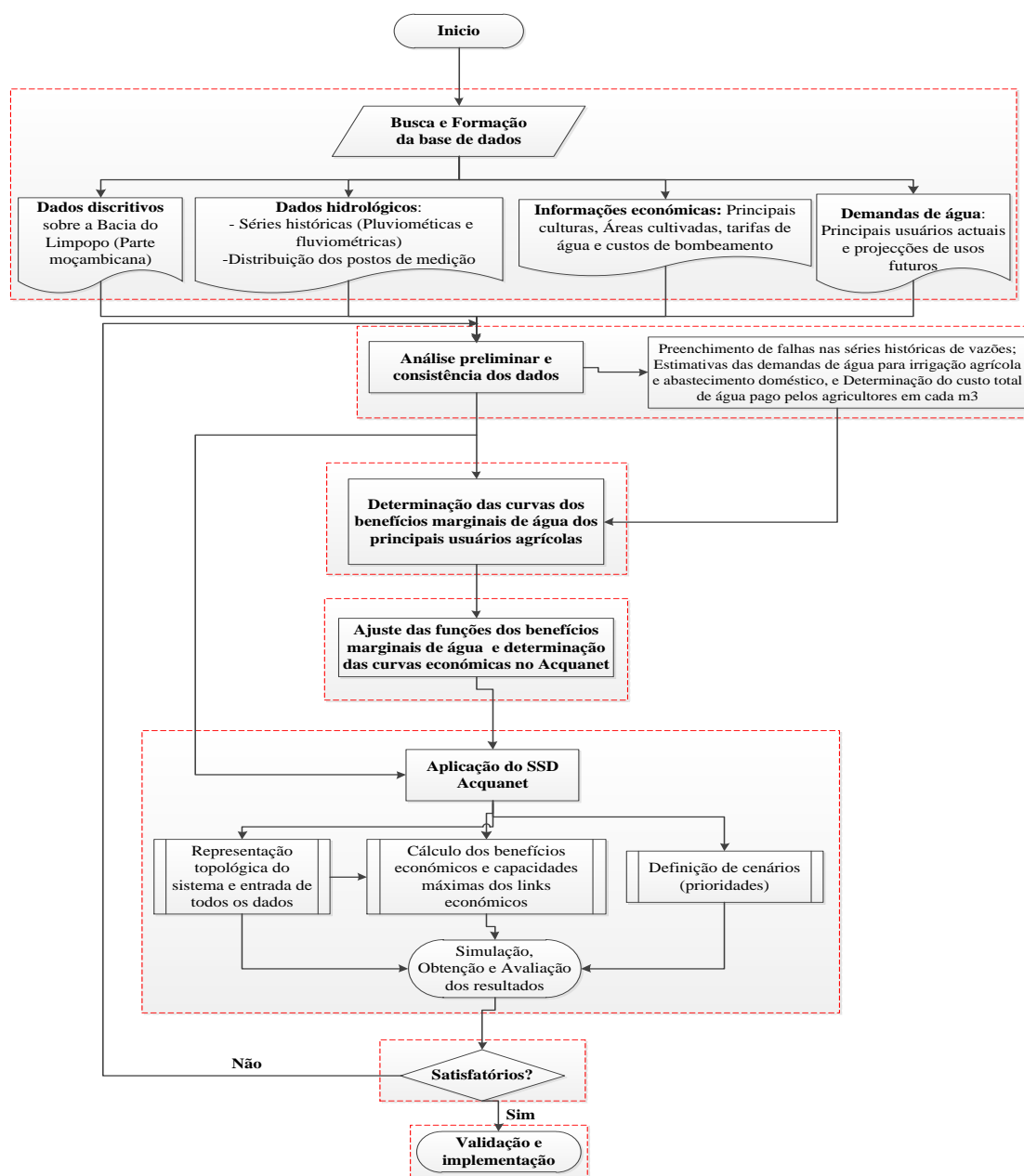
**Tabela 3.9** Valores médios aproximados das necessidades de água para diferentes culturas propostos pela FAO.

Cultura	Período total de crescimento (dias)	Período total médio de crescimento (dias)	Necessidades hídricas (mm/ha/ciclo)	Média (mm/ha/ciclo)	Média (m <sup>3</sup> /ha/ciclo)
Milho	125-180	153	500-800	650	6500
Arroz	90-150	120	450-700	575	5750
Tomate	135-180	158	400-800	600	6000
Feijão Vulgar	95-110	103	300-500	400	4000
Cana-de-açúcar	270-365	318	1500-2500	2000	20000
Banana	300-365	333	1200-2200	1700	17000

**Fonte:** FAO, disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e02.htm#2.4> determination of crop water needs>. Acesso em: 08/01/15.

## CAPÍTULO IV – METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho teve como principais procedimentos metodológicos: **I-** Obtenção, análise e formação da base de dados necessários para o estudo; **II-** Determinação das funções de demanda através da teoria económica *Point Expasinson*, para confecção da curva dos benefícios marginais decorrentes do uso dos recursos hídricos; **III-** Análise da capacidade e dos benefícios económicos do sistema hídrico da bacia do Limpopo no atendimento das demandas, e por fim a avaliação e discussão dos resultados. Na **figura 4.1** encontra-se resumido em fluxograma os processos metodológicos seguidos para o alcance dos objectivos propostos neste estudo.



**Figura 4.1:** Fluxograma esquemático dos processos metodológicos seguidos neste trabalho.

#### 4.1 Obtenção, análise e formação da base de dados

Para o prosseguimento deste trabalho, diferentes informações sobre o objecto de estudo foram solicitadas junto às seguintes instituições e/ou entidades: ARA-Sul; SDAEs-DPAG; HICEP; RBL e UGBL.

- Na ARA-Sul foi possível obter dados descritivos sobre a bacia do Limpopo; séries históricas de dados pluviométricos e fluviométricos diários com as referências (mapas e coordenadas) dos seus respectivos postos de medição dentro da Bacia; dados sobre as características físicas e do balanço hídrico da barragem de Massingir, dentre outras informações não menos importantes.
- Na DPAG; SDAEs; HICEP e RBL foram colectadas informações concernentes aos principais tipos de culturas praticadas na modalidade irrigada dentro do regadio do Chókwè e do Baixo Limpopo, áreas de cultivo, suas demandas médias mensais de água e tarifas de água cobradas pelo acesso e/ou uso da água.
- E na UGBL foram fornecidos dados gerais sobre os usuários da bacia do Limpopo e suas actuais demandas de água bruta; projecções futuras de uso dos recursos hídricos na parte moçambicana da bacia, e os valores das tarifas aplicadas pelo uso da água.

Em relação à análise preliminar feita nos dados, as séries históricas dos dados tanto pluviométricos quanto fluviométricos mereceram uma atenção especial por estes apresentarem grandes lacunas. Estas lacunas consistiam na heterogeneidade dos períodos de observação dos dados e grandes falhas em todos os postos dentro da bacia e ao longo dos dois principais afluentes, Limpopo e Elefantes, bem como do rio Changane, que nasce dentro do território moçambicano.

Para se melhorar os dados das séries históricas, em princípio foram consideradas três possibilidades: *Usar um modelo determinístico de transformação Precipitação-Vazão (IPH II)*, por se considerar que seria o mais representativo de vazões (TUCCI, 2005). Entretanto, esta possibilidade foi desconsiderada pela indisponibilidade de dados, principalmente das séries longas, homogêneas e sem falhas dos postos pluviométricos. A segunda ferramenta também testada na análise, foi o uso do *modelo estocástico SAMS*<sup>28</sup> (SVEINSSON et al,

---

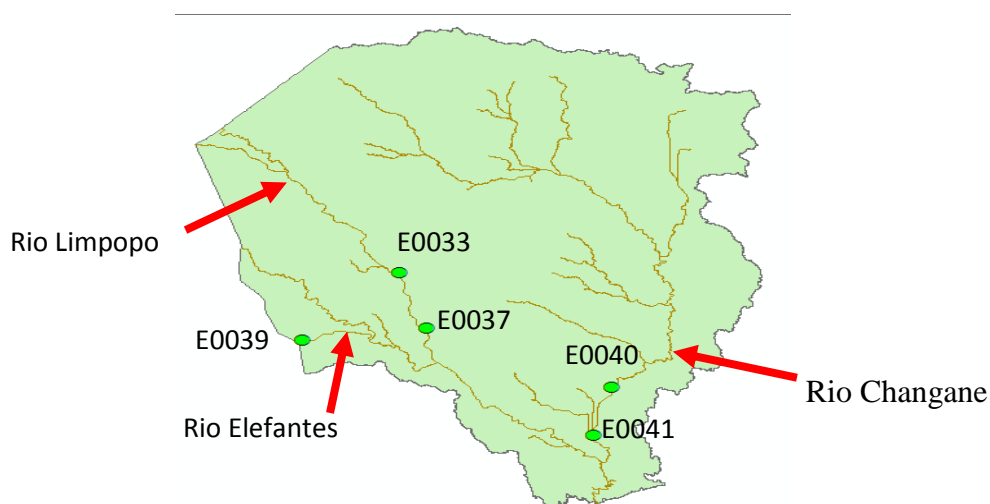
<sup>28</sup> Curiosidade sobre SAMS! Disponível em: < <http://www.sams.colostate.edu/> >. Acesso em: 04/09/2014. Página Web que contém quase todo material sobre o modelo, desde o seu conceito, suas aplicações e o programa de instalação.

2007) para geração das séries sintéticas. Contudo, os resultados obtidos através deste método após várias simulações mostraram-se menos representativos quanto a sua similaridade quando comparados com série original dos dados observados. E por último, foi feito o preenchimento das falhas ou complementação das séries usando o *método da regressão linear* (TUCCI, 2002) em *Microsoft Excel*<sup>®</sup>, tendo-se obtido uma correlação aceitável entre alguns postos analisados.

A seguir, apresenta-se minuciosamente uma descrição sobre como foi aplicado o método da regressão linear para análise das séries.

#### 4.1.1 Preenchimento de falhas por método de regressão linear

Para o preenchimento e homogeneização dos períodos das séries necessárias para dar como entrada no modelo, foram utilizadas séries fluviométricas com dados diários observados/medidos em três rios contribuintes: *Limpopo*, *Elefantes* e *Changane*. No rio Limpopo foram as estações: **E0033** (28/02/61-31/08/13) e **E0037** (20/01/71-29/02/12); no Elefantes: **E0039** (01/10/2003-31/12/13); e no rio Changane: **E0040** (11/01/53-31/07/07) e **E0041** (06/04/60-24/01/13), (**figura 4.2**).



**Figura 4.2:** Postos usados na análise das séries históricas com o método de regressão linear.

**Fonte:** (Elaborado pelo autor; 2015).

Na **tabela 4.1** encontram-se dispostas as áreas contribuintes em cada um dos postos acima considerados, seus comprimentos dos rios e as áreas das suas sub-bacias em Moçambique.

**Tabela 4.1.** Áreas contribuintes nos postos de interesse na parte moçambicana da bacia do Limpopo.

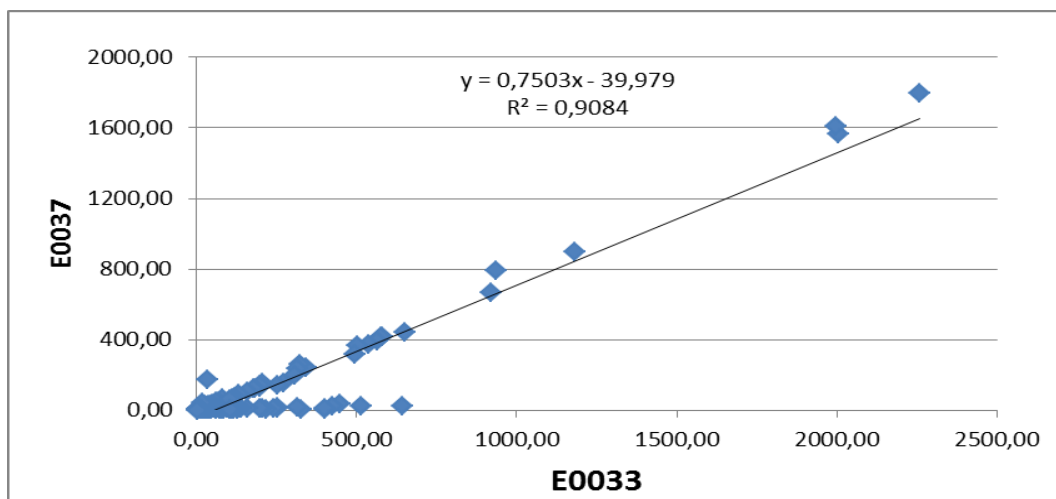
Estação	Rio	Área Contribuinte (km <sup>2</sup> )	Comprimento do rio em Moçambique (m)	Áreas das sub-bacias em Moçambique (km <sup>2</sup> )
E0033	Limpopo	257200	561	14200
E0037	Limpopo	259200		
E0039	Elefantes	66600	657	6900
E0040	Changane	57530	436	58500
E0041	Changane	63430		

Fonte: (DNA, 1996).

Como procedimento para análise preliminar das séries históricas, foram calculadas as médias mensais dos anos de todas as séries dos postos seleccionados na área de interesse. Com os valores das médias mensais já determinadas, escolheu-se primeiro para regressão em *Microsoft Excel*<sup>®</sup>, os anos e meses com dados em comum, nos postos do Limpopo e do Changane. Entretanto, nesta escolha dos dados em comum nestes postos, o Changane mostrou-se inexequível para regressão e sua correlação com os outros rios, pois este, possuía quase todos os valores das suas médias mensais iguais a zero, e em uma quantidade muito reduzida. Diante desta situação, para este trabalho, decidiu-se descartar este afluente, por se considerar que a sua influência na análise que se pretende seria insignificante, se se reparar para os seus dados e sua periodicidade ou regime. Com a desconsideração do Changane, fez-se então, a regressão e correlação entre o Limpopo e o Elefantes.

Para a regressão dos postos sobre o trecho do rio Limpopo, tomou-se como estação base, a E0033, por esta dispor de maior número de dados na sua série. Com efeito, as variáveis (vazões) do posto E0037, foram determinadas em função das variáveis independentes da estação base. No **apêndice A**, encontra-se a tabela com os valores das médias mensais usados para a regressão. É importante realçar que, para dar como entrada no modelo Acquanet, foram usadas as vazões médias mensais da estação E0037, pelo facto de ser o último ponto onde são feitas as medições do fluxo de água no rio Limpopo, antes da confluência com o afluente Elefantes.

No gráfico da **figura 4.3**, mostra-se a dispersão das variáveis dos dois postos e seu grau de correlação, como resultado da regressão. Baseando-se no valor do coeficiente de determinação  $R^2$ , que apresenta um valor evidenciando maior qualidade no ajuste (MATOS 1995), conclui-se que existe uma relação significativa entre os dados observados nas duas estações sobre o rio Limpopo, na região em análise.

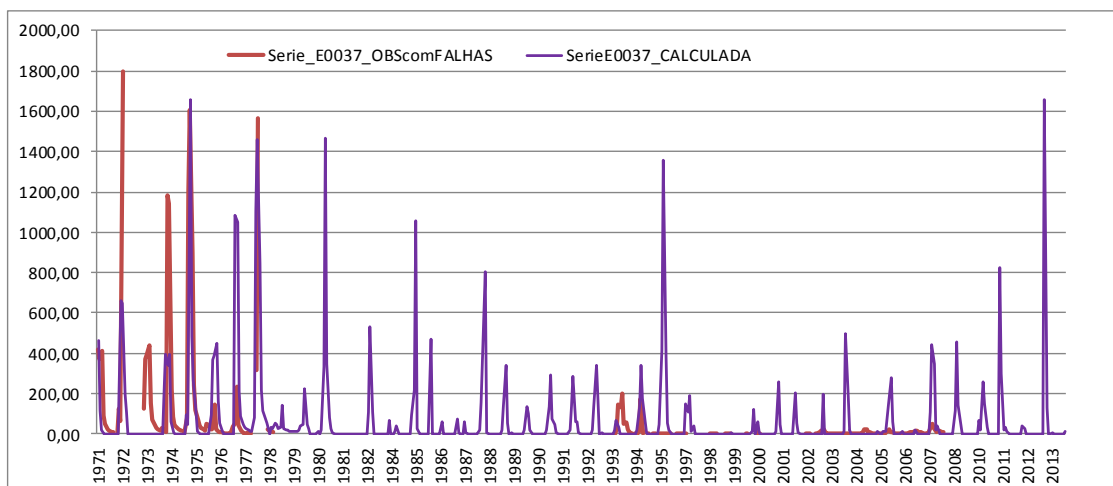


**Figura 4.3:** Gráfico de correlação entre as variáveis dos postos E0033 e 0037.

Uma vez obtida a equação da recta ( $y = 0,7503 * x - 39,979$ ) através de regressão linear, foi possível fazer o preenchimento das falhas das vazões médias mensais do posto E0037 em função dos dados da estação E0033, tendo-se escolhido como intervalo das séries os anos de 1971 à 2013, com um total de 43 anos de dados. Para a complementação da estação E0037, além do uso da equação da recta, foi utilizada a média mensal de longo período para o preenchimento de alguns meses, nos casos em que havia coincidência de falhas nos dois postos.

Com a série do E0037 já preenchida (**apêndice B**)<sup>29</sup>, efectuou-se o *plot* do gráfico dos dados observados e calculados para a sua comparação e análise. Pela disposição do gráfico representado na **figura 4.4**, onde é possível comparar, constata-se um grau considerável de similaridade nos resultados obtidos. As vazões calculadas conseguiram ter uma boa qualidade de ajuste nas vazões médias e de pico, e mantiveram a sazonalidade da série observada quase em todo período. Entretanto, para as vazões mínimas, as tidas como mais críticas para o planeamento e gestão dos recursos hídricos, nota-se uma certa desconformidade entre as duas séries.

<sup>29</sup> No **Apêndice B** encontra-se a planilha com as vazões médias mensais da série histórica já preenchida do posto E0037, usada como afluente no rio Limpopo.



**Figura 4.4:** Gráfico mostrando a comparação da série histórica observada na estação E0037 com a calculada, usando a equação de regressão.

Esta representação não muito satisfatória de uma parte das vazões mínimas calculadas quando comparadas as observadas, pode estar relacionada com a utilização de valores médios mensais, que acabam agregando algumas simplificações na distribuição temporal de vazões dentro da bacia e, por outro lado, associa-se a influência do intervalo de dados usados para regressão, que pode não ter sido muito representativo para esta faixa de vazões mínimas. Contudo, por não constituir escopo deste trabalho encontrar a mais óptima correlação nas séries históricas, foram considerados válidos os resultados obtidos através deste modelo de regressão linear.

Quanto ao rio Elefantes, foi aplicado o mesmo procedimento de regressão linear usado para o Limpopo. Entretanto, a principal diferença é que para este rio (Elefantes), dispunha-se de uma série histórica de vazões completa, precisando apenas de sua extensão para a obtenção do período homogêneo com a série do Limpopo. Os dados disponíveis do Elefantes, são medições feitas no posto E0039, localizado bem na fronteira entre África do Sul e Moçambique, entre os anos de 2003 a 2013.

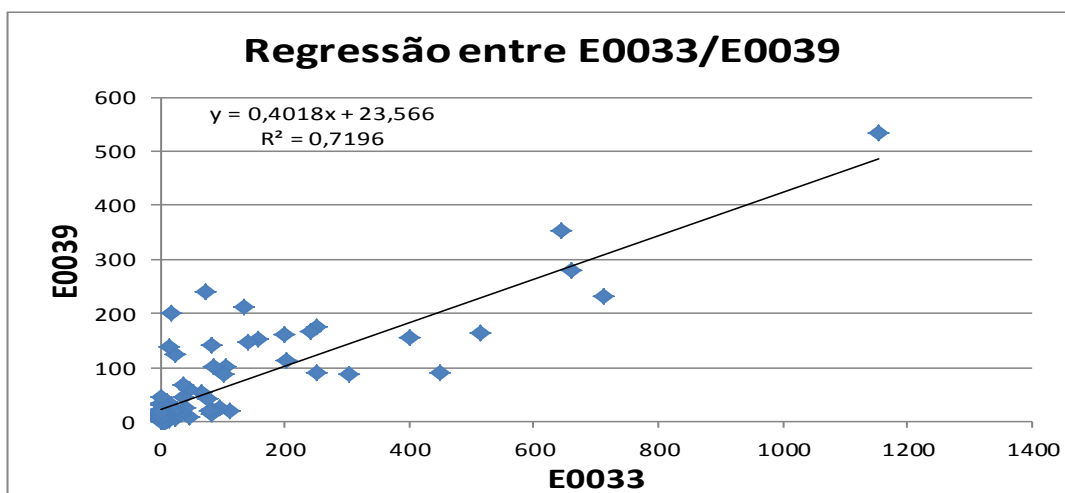
Para a complementação da série observada no posto E0039, primeiro foi testada a regressão/correlação das vazões deste posto com as duas estações do rio Limpopo, a E0033 e E0037; tendo-se mostrado mais adequado o posto E0033 para a extensão dos dados do rio Elefantes. No entanto, como a estação E0033 possuía algumas falhas, houve necessidade de se preencher antes seus dados em falta. Para seu preenchimento, foi também usada uma equação da recta<sup>30</sup>, obtida através de uma regressão entre os dados do posto E0033 em função

<sup>30</sup>  $y = 1,2108 * x + 66,8867$ ,  $R^2 = 0,9084$ , equação da recta e coeficiente de determinação, obtidos na regressão do posto E0033 em função do E0037.



do E0037, e em alguns meses foi utilizada a média mensal de longo período, para os casos em que coincidiam as falhas nos dois postos.

Na regressão linear entre a E0033 e E0039 foram utilizados os valores das médias mensais das vazões observadas<sup>31</sup> nestes dois postos, nos anos e meses em comum. E como resultados desta regressão, o gráfico da **figura 4.5** mostra um nível de relação satisfatório entre as estações, o que garantiu o uso da equação desta regressão para a complementação da série do posto E0039.



**Figura 4.5:** Gráfico de regressão entre os postos E0033 e 0039.

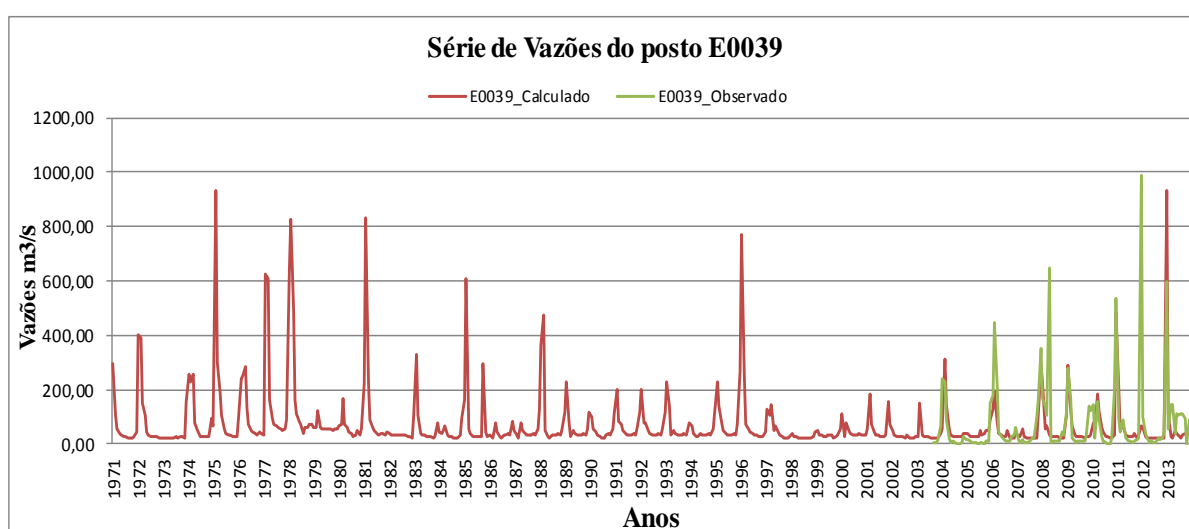
Tendo-se já a equação de regressão entre as duas estações, e a série preenchida da E0033<sup>32</sup>, foi possível fazer a extensão do posto E0039<sup>33</sup>, onde para sua complementação considerou-se o período a partir de janeiro de 1971 até setembro de 2003, uma vez que os dados já disponíveis da E0039 tinham um intervalo compreendido entre outubro de 2003 a dezembro de 2013. Com esta extensão, o afluente do Elefantes ficou com uma série de 43 anos de dados, o mesmo período da série do posto E0037.

<sup>31</sup> **Apêndice C.** Vazões médias mensais observadas nos anos e meses em comum nos postos E0033 e E0039, usadas para regressão linear.

<sup>32</sup> **Apêndice D.** Neste apêndice encontra-se a planilha com as vazões da série histórica da estação E0033 já preenchida, usada para a extensão da série do posto E0039.

<sup>33</sup> **Apêndice E.** Planilha com as vazões médias mensais da série histórica da estação E0039 já preenchida, usada como afluente na barragem de Massingir.

Para uma melhor comparação e avaliação da série obtida pela regressão, foi plotado num único gráfico a série dos dados observados e calculados para todo intervalo considerado nesta análise. Pese embora observar-se no gráfico construído, uma superestimativa das vazões mínimas observadas e uma pequena subestimativa das máximas, se se reparar para o intervalo entre 2003 e 2013, onde é possível comparar as vazões observadas e calculadas, na sua extensão, vê-se uma similaridade na dispersão dos dados das duas séries, e percebe-se uma aproximação bem considerável entre as variáveis (**figura 4.6**), o que levou a validar os resultados alcançados.



**Figura 4.6:** Plot para comparação da série histórica observada na estação E0039 com a calculada através de regressão.

#### 4.1.2 Usuários e suas demandas de água na parte moçambicana da bacia do Limpopo

Outra limitação constatada nos dados colectados, está relacionada com a contabilização de todos os usuários de água na bacia do Limpopo, pois, segundo um dos técnicos da UGBL, Sr. Bernardo Luciano, esta Unidade de Gestão enfrenta ainda dificuldades de cadastramento de todos os usuários dos recursos hídricos na parte moçambicana da bacia. Contudo, ao se considerar que os usuários que demandam mais água (sector comercial), encontram-se todos já sistematizados, inclusive os projectos futuros de exploração; espera-se resultados muito representativos para a análise que se pretende nesta pesquisa.

Quanto aos requerimentos de água, foram considerados os valores das estimativas feitas em 3.5.2. As **tabelas 3.6 e 3.7** mostram de uma forma resumida e agregada, os usuários, suas actuais demandas de água dentro da bacia e as projecções de usos futuros. É importante

ressaltar que, para uma obtenção de valores mais próximos de necessidades hídricas de cada cultura, o mais ideal seria a estimativa desses valores através de métodos que tomassem em consideração as características climáticas da região, tipos de solo, coeficientes de culturas, e outros parâmetros. Porém, neste estudo não foi possível fazer esta aferição devido à indisponibilidade de alguns dados sobre esses parâmetros.

Estas demandas de água para a irrigação agrícola, segundo o apresentado em **3.5.2**, são para responder as exigências hídricas das principais culturas praticadas na parte moçambicana da bacia, tendo-se no geral, o cultivo de arroz, milho, tomate e feijões. Somando-se à estas culturas, nas projecções de demandas de água e da exploração de mais áreas agricultáveis dentro da área de estudo, a UGBL cita a produção de *cana-sacarina e banana orgânica*, como culturas que em um futuro breve prevê-se o seu desenvolvimento dentro da bacia e que poderão demandar grandes quantidades de água.

Ainda sobre as demandas no sistema hídrico em análise, havendo necessidade de considerar as necessidades da água para o abastecimento doméstico, o uso mais prioritário, foram computadas as demandas actuais de água para este sector, e sua projecção de consumo para 2017, ano referência para a consideração das demandas futuras no sistema analisado. Para a determinação das necessidades hídricas domésticas tomou-se em afeição três principais variáveis: *população total* dentro da bacia, na parte moçambicana, sua *taxa de crescimento e consumo médio per capita ao ano*.

Segundo LBTPC (2010), baseando-se nas estimativas do censo de 2007, na parte moçambicana da bacia encontra-se cerca de 1,389,703 habitantes, com uma taxa de crescimento populacional média anual de 2,5% (BRITO et al., 2006). Quanto ao consumo médio anual per capita em Moçambique, FAO<sup>34</sup> considera de acordo com os dados de 2002, que cada habitante precisa de cerca de 45,77 m<sup>3</sup>/ano para satisfazer suas necessidades básicas, usando este recurso. Conhecendo essas variáveis, foi possível determinar as necessidades hídricas actuais (2013) e projectadas para o ano de 2017 por meio das expressões (4.1) e (4.2), assumindo um crescimento populacional linear:

$$P_{proj} = P_0 + t * P_0 * \Delta t \quad (4.1)$$

e

---

<sup>34</sup> Dados disponíveis em: < <http://pt.knoema.com/FAOQST2014/fao-aquastat-2014> >. Acesso em: 12/01/14.

$$Q_{abast} = \frac{C_p * P_{proj.}}{12 * 30 * 86400} \quad (4.2)$$

**Onde :**

$P_{proj.}$  - População projectada (2013, 2017) (hab.);

$P_0$  - População inicial (2007) (hab.);

$t$  - Taxa de crescimento populacional média anual (%);

$\Delta t$  - Intervalo de tempo em previsão (anos);

$C_p$  - Consumo per capita ao ano (m<sup>3</sup>/hab./ano);

$Q_{abast}$  - Vazão média mensal necessária para abastecimento doméstico na bacia (m<sup>3</sup>/s/mês).

#### 4.1.3 Custo total de água pago pelos agricultores na parte moçambicana da bacia do Limpopo

Para a determinação das funções de demanda de usuários na área em estudo usando o método *Point Expansion*, é indispensável conhecer o custo total que os agricultores pagam para ter a água disponível nos seus campos. No entanto, para a determinação deste custo de água, foram colectadas as informações sobre as tarifas actuais aplicadas pelo acesso e/ou uso da água, e os custos que os agricultores despendem pelo bombeamento deste recurso. Quanto às taxas actualmente fixadas na bacia do Limpopo, a UGBL, entidade responsável pelas cobranças na área de estudo, aplica as tarifas de água bruta regularizada segundo a tabela resumida 4.2, aprovada pelo Diploma Ministerial nr. 21/2007, e com a sua rectificação/correção publicada no Boletim da República, da quarta-feira do dia 27 de janeiro de 2010.

**Tabela 4.2:** Tarifas de água bruta regularizada aplicadas pela UGBL na BRL.

Tipo usuário (Agricultura)	Tarifa	
	(Mt*/m3)	US\$/m3
Sector familiar < 1ha	0	0
Agricultura de subsistência >1ha	0,04	0,00122
Sector Comercial <50ha	0,048	0,00146
Sector Comercial 50 -1000ha	0,08	0,00243
Sector Comercial >1000ha	0,096	0,00292

Fonte: (UGBL, 2013) (\*Mt = Metical, moeda moçambicana).

Importa salientar que, dentre os usuários tomados em consideração no sistema hídrico analisado, a tabela acima transcrita é apenas aplicada para o regadio do Baixo Limpopo, as Associações Agrícolas, e as empresas privadas dentro da bacia. O regadio do Chókwè tem suas tarifas, que são fixadas segundo as épocas do ano (quente ou fria) e o estado da infraestrutura e das áreas irrigadas (com/sem nivelamento), **tabela 4.3**.

**Tabela 4.3:** Tarifas de água regularizada cobradas no regadio do Chókwè.

Descrição	Taxa							
	Infraestrutura		Água				Total	
	Mt/ha/ano	US\$/ha/ano	EQ (epoca quente)		EF (epoca fresca)			
			Mt/ha/ano	US\$/ha/ano	Mt/ha/ano	US\$/ha/ano	Mt/ha/ano	US\$/ha/ano
Nível 1: Área não reabilitada com acesso a rega	600	18,24	550	16,72	250	7,60	1400	42,55
Nível 2: Área reabilitada sem nivelamento	600	18,24	800	24,32	400	12,16	1800	54,71
Nível 3: Área reabilitada com nivelamento	600	18,24	2.100,00	63,83	900	27,36	3600	109,42

**Fonte:** (HICEP, 2012).

Para a aferição do custo de bombeamento da água despendido pelos agricultores para a irrigação, há que salientar as dificuldades enfrentadas para aceder às informações que possibilitasse esta estimativa com maior representatividade. Contudo, em contacto com a empresa privada Massingir Agro-Industrial, SA (MAI), um dos usuários considerados nas análises desta pesquisa, foi possível obter dados que permitiram determinar o custo de bombear a água para irrigar os campos de produção.

A empresa MAI, com plano de produção da cana-sacarina, tem estimativas de cerca de 108 Gwh de consumo de energia eléctrica pelo bombeamento da água para irrigar uma área de 21 mil ha, na primeira fase do projecto, cuja cultura (cana-sacarina), tem uma necessidade hídrica bruta de 19 250 m<sup>3</sup>/ha. Segundo a mesma fonte, a energia está com uma tarifa de venda de 0,0885 US\$/KWh.

Com estas informações, determinou-se o custo de bombeamento em cada metro cúbico através da expressão 4.3, tendo-se estimado primeiramente a quantidade de energia total necessária por hectare irrigado através do sistema de rega por aspersão, tecnologia utilizada pela empresa MAI. Vale ressaltar que, o valor encontrado através desta equação usando informações da MAI, foi considerado válido para todos os usuários que constituem o sistema hídrico em abordagem neste estudo.

$$C_{bomb.} = \frac{E_{nec} * P_{runi}}{NAR} \quad (4.3)$$

**Com:**

$C_{bomb.}$  - Custo de bombeamento (Mt/m3);

$E_{nec}$  - Quantidade de energia total necessária por hectare irrigado (KWh/ha);

$P_{runi}$  - Preço unitário de energia (Mt/ KWh);

$NAR$  - Necessidade hídrica bruta por cada hectare (m3/ha).

Conhecendo as taxas de água que são cobradas em cada usuário, e com o custo de bombeamento determinado, o custo total que os agricultores pagam para ter a água disponível dentro dos seus campos de produção foi computado usando a seguinte equação:

$$C_{tot.} = C_{bomb.} + t_x \quad (4.4)$$

**Onde:**  $C_{tot.}$  - Custo total da água e  $t_x$  - taxa/tarifa aplicada pelo acesso e/ou uso da água.

#### **4.2 Determinação das funções de demanda da água dos principais usuários na parte moçambicana da bacia do Limpopo**

Para a análise que se objectiva nesta pesquisa, o modelo utilizado para as simulações do sistema hídrico, requer como um dos dados de entrada, as curvas de benefícios económicos advindos do uso da água. A determinação destas curvas foi possível através do ajuste das funções de demanda da água ou de benefícios marginais estimadas pelo método *Point Expansion*, usando a forma de Elasticidade Constante (potencial). Segundo a teoria desta técnica, para a sua utilização, foi necessário conhecer/determinar um ponto (w, p) na função de demanda da água de cada usuário (nó de demanda económica), e um valor estimado da elasticidade preço da demanda.

Para a obtenção do ponto, primeiro, baseando-se nas estimativas feitas em 3.5.2, foram contabilizadas/consideradas as necessidades hídricas médias totais ao ano para cada usuário ou nó de demanda económica no sistema. Aos regadios do Chókwè, do Baixo Limpopo, e às Associações Agrícolas, foram consideradas as quantidades totais de água necessárias para satisfação das suas demandas actuais e, para as empresas privadas as suas demandas hídricas

futuras. As três empresas de produção de cana-sacarina foram agregadas em um só ponto de demanda, como forma de simplificar o sistema simulado e facilitar nos cenários e nas diferentes análises efectuadas. De seguida, com as tabelas de tarifas de água apresentadas no ponto 4.1.4, e o gasto monetário pelo bombeamento da água estimado através da expressão 4.3, foi possível obter o custo total de água pago por cada usuário considerado na topologia do sistema estudado, segundo a equação 4.4. Na tabela 4.4, encontram-se resumidos os resultados dos pontos das curvas de demanda pelo uso da água por cada usuário.

**Tabela 4.4:** Pontos das curvas de demanda pelo uso da água por cada usuário.

Usuário	Área total considerada (ha)	Consumo médio anual por hectare (m <sup>3</sup> )	Consumo médio anual (W m <sup>3</sup> *(10 <sup>3</sup> ))	*Tarifa de água (Mt/m <sup>3</sup> )	**Custo de bombeamento (Mt/m <sup>3</sup> )	Custo total de água (P) (f) = (d+e)*1000	
	(a)	(b)	(c) = a*b	(d)	(e)	Mt/1000 m <sup>3</sup>	US\$/1000 m <sup>3</sup>
Regadio de Chókwè	13000	20500	266500	0,111 (i)	0,763	874	27,08
Regadio do Baixo Limpopo	12000	20500	246000	0,096 (ii)	0,763	859	26,61
Associações Agrícolas	8000	20500	164000	0,096 (iii)	0,763	859	26,61
TAFC, Ltd	500	17000	8500	0,08 (iv)	0,763	843	26,12
Empresas de Cana-sacarina	63000	19250	1212750	0,096 (v)	0,763	859	26,61

\* Lembrar que a tarifa de água (i) foi determinada segundo a tabela 4.3, das taxas actualmente aplicadas no regadio do Chókwè, onde achou-se a média dos três níveis utilizados para diferenciar as cobranças, e dividida pelo consumo médio anual por hectare. E para as tarifas (ii), (iii), (iv) e (v), foi considerada a tabela 4.2 utilizada pela UGBL, cujos valores são ponderados segundo a área de cada usuário.

\*\* O custo de bombeamento foi calculado em função do câmbio do dia 17/01/14, do dólar para o metical, uma vez que o valor de venda da energia foi disponibilizado em US\$/KWh.

Como descrito em 2.2.1.2, para além de ter conhecido um ponto na função de demanda (w-quantidade da água, p-custo), para a utilização do método *Point Expansion*, é necessário um valor estimado da elasticidade preço da demanda, considerado constante ao longo de seu domínio. Entretanto, para este trabalho, devido a inexistência de dados para estimar esse valor, achou-se com validade científica considerar um valor de elasticidade-preço da demanda que representasse o comportamento dos agricultores da região da bacia do Limpopo que abrange os quatro países integrantes. Com isto, para a construção das funções de demanda de todos os usuários que constituem o sistema hídrico estudado, foi utilizado o valor de elasticidade-preço da demanda no sector de irrigação agrícola, estimado por Walter et al. (2011), na sub-bacia do rio Elefantes, principal tributário do rio Limpopo. Este valor considerado,  $\epsilon = -0,19$ , constitui a média de três pequenas bacias divididas dentro da sub-bacia do Elefantes.

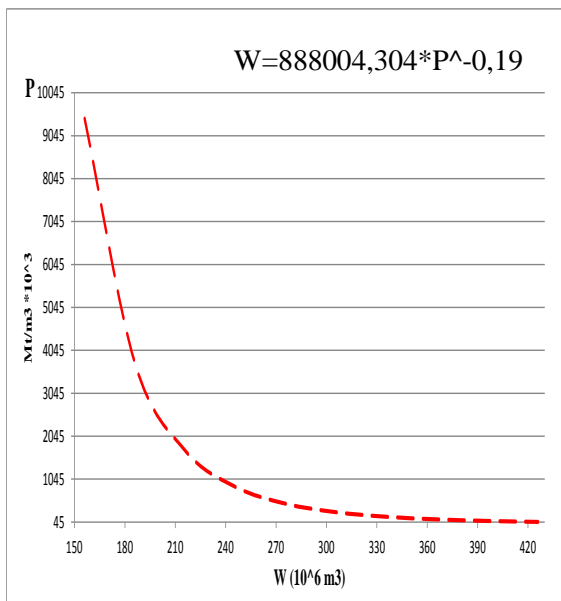
Determinados os dois parâmetros imprescindíveis para o uso do método *Point Expansion*, usando a forma Elasticidade Constante (potencial), achou-se as equações ou funções de demanda dos usuários que possibilitaram a expansão/construção do resto das curvas. E depois, estas funções de demanda da água definidas, foram invertidas para P, como forma de permitir a determinação dos benefícios totais obtidos pelos usuários no consumo da água (**tabela 4.5**).

**Tabela 4.5:** Funções de demanda da água de cada usuário e equações invertidas para P.

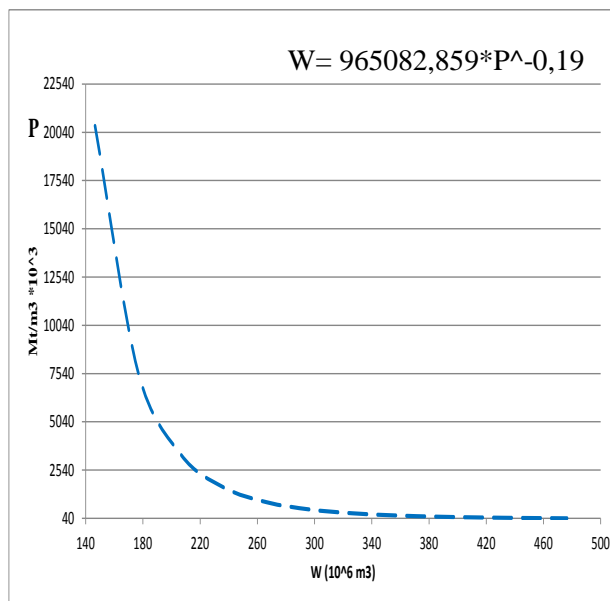
Nr.	Usuário	Funções de demanda da água	Funções da demanda de água invertidas para P
1	Regadio de Chókwe	$W=965082,859*P^{-0,19}$	$P = ((1/965082,859)*W)^{-(1/0,19)}$
2	Regadio do Baixo Limpopo	$W=888004,304*P^{-0,19}$	$P = ((1/888004,304)*W)^{-(1/0,19)}$
3	Associações Agrícolas	$W=592002,869*P^{-0,19}$	$P = ((1/592002,869)*W)^{-(1/0,19)}$
4	TAFC, Ltd	$W=30573,6881*P^{-0,19}$	$P = ((1/30573,6881)*W)^{-(1/0,19)}$
5	Empresas de Cana-sacarina	$W=4377752,92*P^{-0,19}$	$P = ((1/4377752,92)*W)^{-(1/0,19)}$

A partir destas funções de demanda da água apresentadas na tabela acima, foram plotadas as curvas de demanda ilustradas na **figura 4.7**, que representam a disposição que os usuários têm para pagar pela água, em função do seu valor do produto marginal que eles ganham ao ter este recurso disponível. Fazendo uma avaliação dos gráficos abaixo indicados, pode se verificar que apresentam as características da definição clássica de função de demanda, um comportamento de satisfação decrescente (*lei dos rendimentos marginais decrescentes*) em todo seu domínio. E, pese embora a demanda continuar sempre positiva, as curvas mostram que os agricultores estariam menos dispostos a pagar preços muito altos, o que obrigaria a redução do consumo de água.

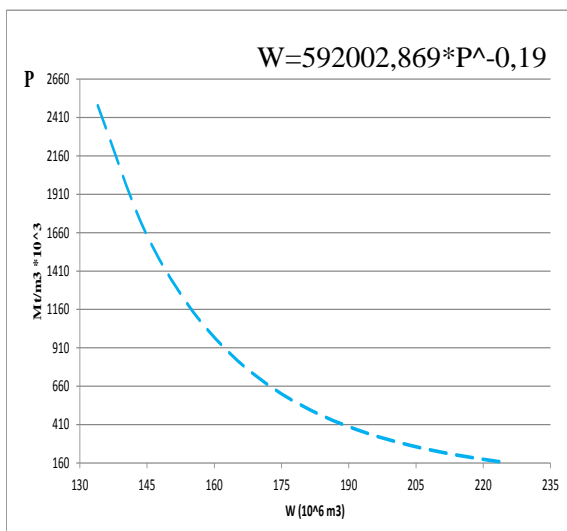




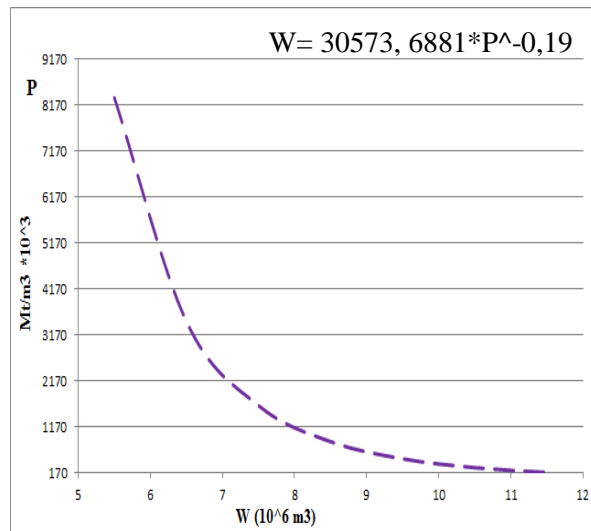
Função de demanda do usuário regadio do Baixo Limpopo.



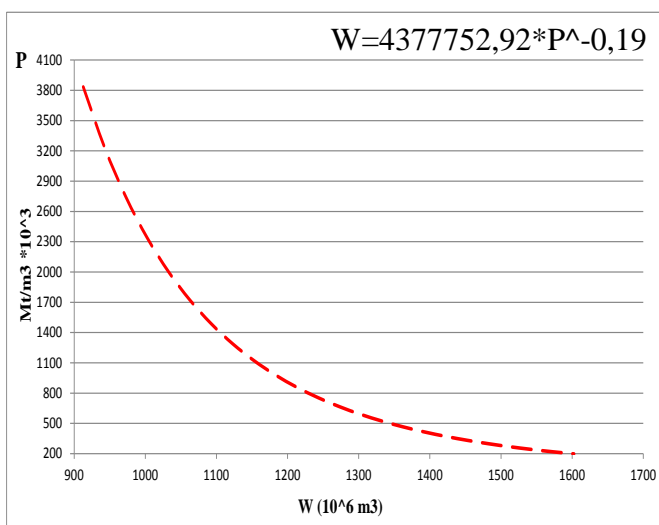
Função de demanda do usuário regadio do Chókwe.



Função de demanda do usuário Associações Agrícolas.



Função de demanda do usuário TAFC.



Função de demanda do usuário Empresas de Cana-Sacarina.

Figura 4.7: Funções de demanda da água dos principais usuários na parte moçambicana da bacia do Limpopo.

## 4.3 Análise da capacidade do sistema hídrico da bacia do Limpopo no atendimento das demandas e seus benefícios económicos

### 4.3.1 Uso do Modelo Acquanet

O SSD Acquanet foi o modelo utilizado para analisar a capacidade do sistema hídrico da bacia do Limpopo no atendimento das actuais e futuras demandas de água e seus impactos económicos, através de simulação de diferentes cenários propostos. Visando alcançar os objectivos deste trabalho, foram testados cinco cenários, que tiveram como base a operação e demandas actuais; capacidade operacional actual da barragem de Massingir e quando operado no seu nível pleno de armazenamento; consideração das demandas futuras, e teste de uma regra de operação alternativa para o sistema (**tabela 4.6**).

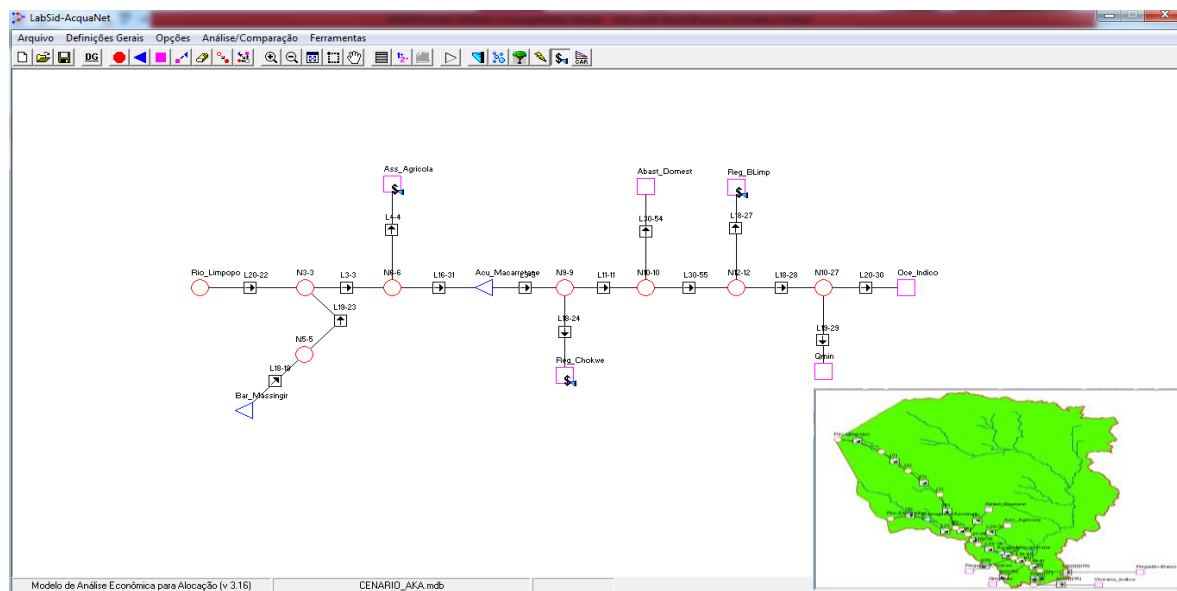
**Tabela 4.6:** Descrição dos cenários testados nas diferentes simulações efectuadas no Acquanet.

<b>Cenário A</b>
Simulação do sistema apenas com as <b>demandas actuais</b> para agricultura irrigada, abastecimento doméstico e vazão mínima para controle de intrusão salina. Consideração da <b>capacidade e operação actuais</b> da barragem de Massingir, e tipo de simulação: <b>Contínua</b> , Opção de cálculo: <b>Calibração</b> .
<b>Cenário B (2017)</b>
Sistema simulado com <b>todas demandas futuras</b> para agricultura irrigada e abastecimento doméstico, <b>projectadas</b> para o <b>ano 2017</b> , incluindo a vazão mínima para controle de intrusão salina. Consideração da <b>capacidade e operação actuais</b> da barragem de Massingir, e tipo de simulação: <b>Contínua</b> , Opção de cálculo: <b>Calibração</b> .
<b>Cenário C (2017)</b>
Simulação do sistema com <b>totais demandas futuras</b> para irrigação agrícola e abastecimento doméstico, <b>projectadas para o ano 2017</b> , e considerando também a demanda da vazão mínima. Consideração da <b>operação actual</b> da barragem de Massingir na sua <b>capacidade máxima</b> , quando operada no seu nível pleno de armazenamento. Tipo de simulação: <b>Contínua</b> e Opção de cálculo: <b>Calibração</b> .
<b>Cenário D (2017/2025)</b>
Sistema simulado com <b>totais demandas futuras</b> para irrigação agrícola e abastecimento doméstico, <b>projectadas para o ano 2017</b> , incluindo a vazão mínima para controle de intrusão salina. Consideração da <b>operação actual</b> da barragem de Massingir na sua <b>capacidade máxima</b> . Tipo de simulação: <b>Contínua</b> e Opção de cálculo: <b>Calibração</b> . E afeição das <b>projeções de consumo nos países à montante</b> (África do Sul, Zimbabwé e Botswana) para o <b>ano 2025</b> , tendo-se novas séries (Sintéticas) históricas de vazões fluviométricas como entrada na barragem de Massingir e no rio Limpopo.
<b>Cenário E (2017/2025)</b>
Sistema simulado com <b>totais demandas futuras</b> para irrigação agrícola e abastecimento doméstico (projeções para 2017), e a vazão mínima. Afeição das <b>projeções de consumo nos países à montante</b> (África do Sul, Zimbabwé e Botswana) para o <b>ano 2025</b> , considerando novas séries das vazões fluviométricas, como entrada na barragem de Massingir e no rio Limpopo. teste da <b>operação ALTERNATIVA</b> da barragem de Massingir na sua <b>capacidade máxima</b> . Tipo de simulação: <b>Contínua</b> e Opção de cálculo: <b>ESTADOS HIDROLÓGICOS</b> ou estabelecimento de <b>NÍVEIS DE ALERTA</b> .

Objectivando a simulação dos cenários acima propostos, para o uso do Acquanet teve-se como princípio básico, a representação do sistema hídrico da parte moçambicana da bacia do Limpopo em uma rede de fluxo (PORTO et al. 2003). Nesta pesquisa, foram configuradas

duas redes topológicas do sistema estudado. Na primeira rede, **figura 4.8**, considerou-se para além dos reservatórios, os nós das demandas actuais, e na segunda, **figura 4.9**, foram acrescentadas as demandas futuras já planejadas. Ressalve-se que, na configuração das redes de fluxo em análise, todos os actuais e futuros agricultores localizados dentro dos regadios de Chókwè e do Baixo Limpopo, foram agregados, para cada perímetro irrigado constituir um único nó de demanda económica no sistema. Agrupou-se igualmente em um só ponto de demanda, as três empresas de produção cana-sacarina, e as Associações Agrícolas, e a empresa TAFC também representa um nó de demanda no sistema.

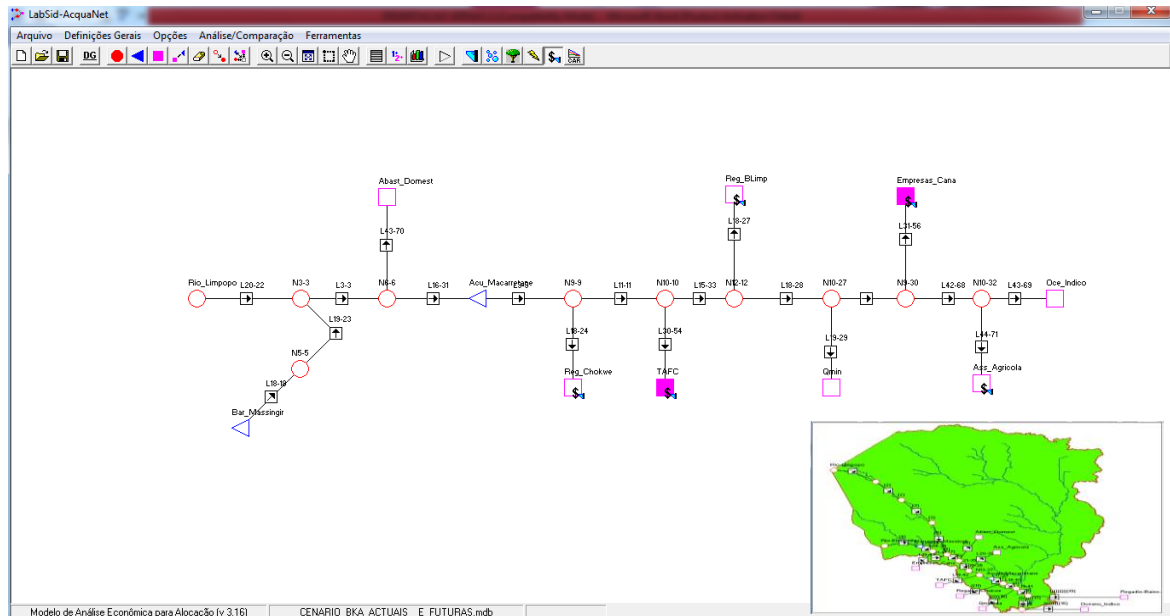
Como seus principais elementos, a topologia das duas redes foi composta pelos seguintes pontos: como nós de armazenamento a *barragem de Massingir* (Bar\_Massingir) e “*açude de Macarretane* (Acu\_Macarretane)”; os nós do *regadio do Chókwè* (Reg\_Chokwe); *Associações agrícolas* (Ass\_Agricola); *regadio do Baixo Limpopo* (Reg\_BLimp); empresa TAFC (TAFC) e a empresas de produção de cana-sacarina (Empresas\_Cana) como pontos de demandas económicas, e os nós de demandas não económicas: abastecimento doméstico (Abast\_Domest); *Q<sub>min</sub>*-para garantir o fluxo da vazão mínima no sistema, e *Oceano Índico* (Oce\_Indico) -como uma demanda fictícia<sup>35</sup> que vai recolher todo excesso de água em períodos de abundância, para evitar a alocação de vazões acima dos volumes demandados.



**Figura 4.8:** Rede de fluxo representando a situação actual do sistema hídrico da parte moçambicana da bacia do Limpopo.

<sup>35</sup> Esta demanda fictícia deve ter um valor muito grande para poder receber todo o excesso de água, e uma prioridade muito pequena de todas ( $P= 99$ ), para não poder competir com as reais demandas do sistema, e consequentemente terá o menor benefício económico.

E a **figura 2.9**, constitui a topologia do sistema hídrico analisado, que para além das demandas actuais de água na bacia, económicas, ou não, inclui nós de demandas económicas futuras, segundo acima referenciado.



**Figura 4.9:** Topologia de rede de fluxo representando a situação futura de demandas na parte moçambicana da bacia do Limpopo.

Com o sistema configurado, estabeleceu-se as *definições gerais* para a simulação do modelo. Como o objectivo pretendido neste estudo era de analisar o comportamento do sistema ao longo do tempo, foi escolhido segundo os cenários em epígrafe, a simulação *Contínua*, e foram utilizadas as duas opções de cálculo que o Acquanet oferece, a Calibração e de Estados Hidrológicos. A *Calibração* foi opção de cálculo em todos os cenários que considerou-se a regra de operação actual acima apresentada, e de Estados Hidrológicos para o cenário **E**, que testa uma nova alternativa de operação do sistema (reservatório de Massingir).

O cenário E, com a opção de cálculo *Estados Hidrológicos*, foi testado com o intuito de conferir uma regra de operação alternativa, que se pressupõe ser a regra mais adequada e aprimorada para a operar o sistema estudado, face às tendências das demandas de água naquela região. Inspirando-se na teoria de McMahon & Mein (1978), esta operação basea-se na definição de níveis/estados de alerta, onde são considerados principalmente os períodos críticos, em que a disponibilidade de água não é suficiente para atender a 100% o volume demandado, havendo assim, a necessidade de microracionamentos daquelas demandas com “baixa prioridade”, e priorização do reservatório para armazenamento de água, que deve ser

disponibilizada para aqueles usuários que o seu atendimento não pode ser interrompido nos períodos subsequentes.

Ainda nas definições gerais do modelo, foi delimitado o período de simulação, que tem um total de 43 anos (516 meses), com o intervalo ou variação do tempo mensal. Refira-se que, definiu-se Outubro, como o mês inicial de simulação, pelo facto de ser o mês que inicia a época quente na área de estudo, período com altas demandas de água para a irrigação agrícola. Para cálculos económicos foi também especificada uma taxa de desconto de 12,20 %<sup>36</sup> para determinação do Valor Presente Líquido-VPL<sup>37</sup>. Sobre este indicador (VPL), utilizado para diferentes análises económicas comparativas efectuadas na discussão dos resultados deste trabalho, há que salientar que no cenário **E**, cuja opção de cálculo foi de Estados Hidrológicos, o VPL foi determinado manualmente, segundo a expressão 4.5, proposta por Mays & Tung (2002), pelo facto de esta opção de cálculo (Estados Hidrológicos) existir apenas no submódulo de alocação de água do modelo Acquanet, o que não possibilitaria a determinação deste indicador (VPL) que só é possível no submodelo de economia utilizado nos outros cenários.

Esta fórmula foi aplicada para as estimativas do VPL obtido pelos usuários de nós económicos que neste cenário (E), foram aleatoriamente assumidos como prioritários, e atendidos a 100% suas demandas mesmo em períodos críticos, permitindo a obtenção dos benefícios máximos anuais em todo o intervalo de simulação.

$$VPL = A * \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \quad (4.5)$$

**Onde:**

*VPL* - Valor Presente Líquido (Mt);

---

<sup>36</sup> Média da taxa de desconto dos penúltimos três anos, 2011 a 2013, utilizada pelo Banco Moçambique nas suas diferentes análises económico-financeiras. Dados disponíveis em Relatórios Anuais dos respectivos três anos, volumes 20 (2011); 21 (2012) e 22 (2013).

<sup>37</sup> **Valor Presente Líquido (VPL):** é soma da quantidade de fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa de juros compostos para o instante presente.

$A$  - Série uniforme dos benefícios anuais futuros produzidos pela água alocada aos usuários (Mt/ano);

$i$  - Taxa de desconto (%) e

$n$  - Número do período de fluxo caixa (anos na série).

#### 4.3.1.1 Entrada dos dados no Modelo

O Acquanet, entre as definições gerais básicas, para a sua utilização necessita ainda diferentes informações de entrada que devem ser fornecidos para todos os elementos que compõem a rede de fluxo do sistema analisado.

Segundo a abordagem apresentada no ponto **2.3.2**, para a barragem de Massingir, o único nó de armazenamento no sistema da parte moçambicana da bacia do Limpopo, foram fornecidas as séries de vazões afluentes no reservatório e nó do rio Limpopo (**apêndices B e E**); suas características físicas, volume inicial, mínimo e máximo; taxas de evapotranspiração mensal já com precipitação descontada, e a curva cota-área-volume. No volume máximo da barragem, tomou-se em afeição dois valores da sua capacidade, 1463 Mm<sup>3</sup>, correspondente a capacidade actual de operação do reservatório na cota 115 m, e o segundo de 2836 Mm<sup>3</sup>, capacidade máxima do reservatório quando operado no seu nível pleno de armazenamento, na cota 125 m (**tabela 4.7**).

Segundo a operação actual do reservatório, foi ainda definido o volume meta da barragem, que constituiu 100% do volume máximo considerado em cada cenário simulado. Lembrar que o Açude de Macarretane serve apenas como um nó/represa de elevação do nível das águas para o seu desvio à tomada do canal geral do regadio do Chókwè, e não como reservatório de armazenamento, tanto que no sistema analisado, foi assumido como um “ponto de passagem”.

**Tabela 4.7:** Dados de entrada no Modelo Acquanet para o Reservatório de Massingir e “Açude de Macarretane”.

Características físicas da barragem de Massingir e Açude de Macarretane												
Reservatório	Volumes Característicos (Mm3)						Volume meta (100%)					
	Volume Inicial		Volume Mínimo		Volume Máximo							
	Opera. Actual	NPA	Opera. Actual	NPA	Opera. Actual	NPA						
Barragem de Massingir	1323	2696	140	140	1323	2696	1,0					
Açude de Macarretane	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	0,0					

Curva Cota-Área-Volume da Barragem de Massingir		
Cota (m)	Área (km²)	Volume (Mm³)
98,39	30	140
102,36	52	302
106,45	82	576
110,28	103	932
113,34	116	1266
115	122	1463
116,24	126	1617
118,35	133	1890
120,14	138	2132
122,56	145	2475
125	151	2836

Taxa de Evaporação (m/mês)												
Meses	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Evaporação	0,2118	0,1972	0,1958	0,2108	0,2027	0,1834	0,1390	0,1278	0,1136	0,1250	0,1498	0,1913

Fonte : (DNA, 1996; ARA-SUL, 2014).

Para os nós de demanda representados no sistema, tanto os das demandas económicas como não económicas, foram fornecidos os valores das quantidades hídras médias mensais requeridas por cada usuário. Nesses requerimentos, considerou-se numa primeira situação, os valores das demandas actuais, e noutra as demandas estimadas para o futuro (2017), ver a **tabela 4.8**.

**Tabela 4.8:** Demandas hídras médias mensais actuais e futuras referentes aos principais usuários na parte moçambicana da bacia do Limpopo.

Situação Actual					
Demandas hídras médias mensais dos principais usuários na parte moçambicana da BRL					
Usuários	Reg_Chokwe	Reg_BLimp	Ass_Agricola	Abast_Domest	Qmin
Demandas (m3/s)	8,570	7,910	5,270	2,403	7,500

Situação Futura (2017)							
Demandas hídras médias mensais dos principais usuários na parte moçambicana da BRL							
Usuários	Reg_Chokwe	Reg_BLimp	Ass_Agricola	Abast_Domest	Qmin	TAFC	Empresas_Cana
Demandas (m3/s)	15,720	27,680	5,270	2,560	7,500	0,270	38,990

Às demandas económicas foram também editadas as curvas de benefício marginal, que de acordo com a descrição do modelo económico do Acquanet abordada em **2.3.2.2**, durante o período de simulação relacionam os valores económicos marginais com quantidades de água alocadas mensalmente para cada uso. Para a sua construção, foi primeiro efectuado o ajuste das curvas de demandas acima apresentadas no ponto 4.2, para a obtenção das equações

dos benefícios marginais. Recordar que o modelo de economia admite apenas as funções de forma exponencial, facto que determinou o ajuste das curvas de demanda da água para expressões exponenciais (**tabela 4.9**).

**Tabela 4.9:** Funções ajustadas das curvas de demanda da água para a determinação do benefício marginal obtido por cada usuário económico na parte moçambicana da BRL.

Nr.	Usuário	Funções de benefício Marginal Ajustadas	coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )
1	Regadio de Chókwè	$y=Bmg = 154009*e^{-0,018*Q}$	R <sup>2</sup> = 0,974
2	Regadio do Baixo Limpopo	$y=Bmg = 148616*e^{-0,02*Q}$	R <sup>2</sup> = 0,9829
3	Associações Agrícolas e outros	$y=Bmg = 121885*e^{-0,03*Q}$	R <sup>2</sup> = 0,9948
4	T AFC, Ltd	$y=Bmg = 227795*e^{-0,641*Q}$	R <sup>2</sup> = 0,9888
5	Empresas de Cana-sacarina	$y=Bmg = 161139*e^{-0,004*Q}$	R <sup>2</sup> = 0,9943

Tendo estas funções ajustadas, de seguida, em função da vazão média mensal de cada usuário de irrigação agrícola, formou-se seis pares de pontos para a formação da curva aproximada em cinco segmentos de recta, que depois o modelo automaticamente transformou em cinco novos arcos económicos, e associa-os a cada um dos cinco trechos lineares da curva. Em relação as demandas não económicas e os nós de armazenamento que não levam as curvas de benefício marginal, foram atribuídos um benefício “fictício”, tendo em conta o seu grau de prioridade durante as simulações. À demanda de água para o abastecimento doméstico foi conferida o maior benefício, seguido da vazão mínima, em todos cenários testados, como forma de assegurar atendimento prioritário das suas demandas. E aos nós barragem de Massingir, açude de Macarretane e a demanda fictícia Oceano Índico, atribuiu-se benefícios que não disputassem o atendimento com as demandas económicas. Na **figura 4.10** é dado exemplo da curva criada no submodelo económico do Acquanet para o regadio do Baixo Limpopo, que foi projectada considerando sua vazão máxima mensal de demanda futura.



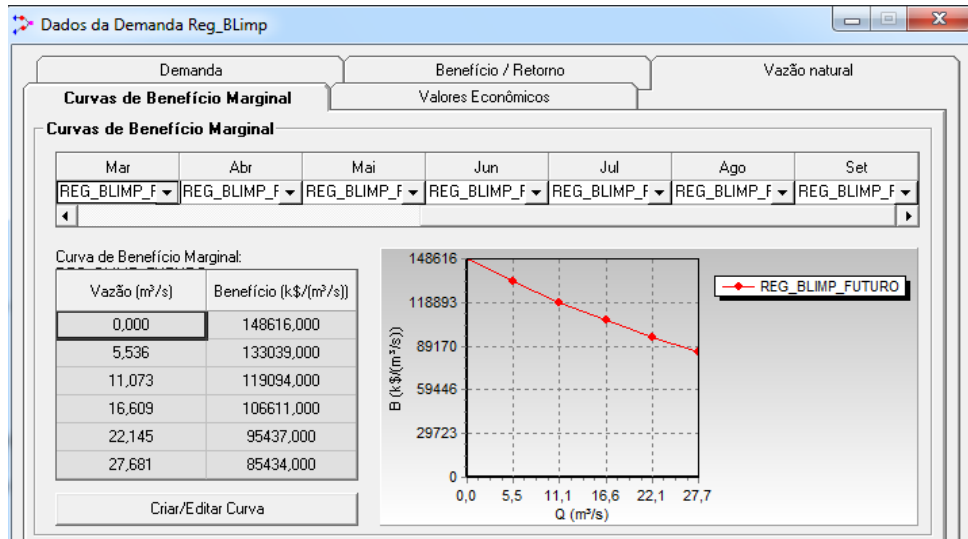


Figura 4.10: Curva de benefício marginal editada no submodelo económico do Acquanet.

Outras informações que o módulo de análise económica necessita, são os valores dos benefícios e das capacidades mínimas e máximas dos *links* económicos. O modelo, criadas as curvas de benefício marginal e fornecidas as demandas máximas económicas, calcula automaticamente os benefícios obtidos nos arcos económicos através da expressão 2.35, apresentada no ponto 23.2.2; as capacidades mínimas são igualadas a zero para permitir a passagem de qualquer quantidade de vazão alocada pelo sistema, e as capacidades máximas são determinadas segundo a equação 2.33. É apresentado na figura 4.11, os valores das características próprias dos arcos económicos determinados pelo modelo para dados de demanda do usuário regadio do Baixo Limpopo.

The screenshot shows the 'Dados da Demanda Reg\_BLimp' window with the 'Valores Económicos' tab selected. It contains three tables:

**Demanda Máxima (m³/s)**

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
	27,681	27,681	27,681	27,681	27,681	27,681	27,681

**Benefícios dos links económicos (k\$/m³/s)**

Links	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
1	140827,500	140827,500	140827,500	140827,500	140827,500	140827,500	140827,500
2	126066,500	126066,500	126066,500	126066,500	126066,500	126066,500	126066,500
3	112852,500	112852,500	112852,500	112852,500	112852,500	112852,500	112852,500
4	101024,000	101024,000	101024,000	101024,000	101024,000	101024,000	101024,000
5	90435,500	90435,500	90435,500	90435,500	90435,500	90435,500	90435,500

**Capacidades máximas dos links económicos (m³/s)**

Links	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
1	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536
2	5,537	5,537	5,537	5,537	5,537	5,537	5,537
3	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536
4	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536
5	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536	5,536

Figura 4.11: Dados das Características próprias dos links económicos determinados no Acquanet.

Com pretensão de considerar a vazão de retorno nos usuários de demandas consumptivas e económicas no sistema analisado, foi definida uma fracção de retorno em cada nó das demandas de água para a irrigação agrícola, em função do tipo de sistema de rega utilizado. Estas fracções de vazão de retorno foram determinadas segundo a **tabela 4.10**, proposta pela FAO (2002).

Para os regadios do Chókwè e do Baixo Limpopo, e para as Associações Agrícolas, que, em geral, usam a rega superficial (sulcos e/ou bacias de inundação) (UGBL, 2014), o seu coeficiente de retorno ficou fixado em 0,55. O coeficiente das empresas de produção de cana-sacarina e da TAFC foi de 0,10 para cada uma, visto que estas utilizam a rega por aspersão (pivô-central) (MAI, 2014) e gotejamento (UGBL,2014), respectivamente.

**Tabela 4.10:** Eficiência Potencial de cada método de irrigação utilizada para determinação dos coeficientes da vazão de retorno dos usuários de demandas consumptivas e económicas no sistema estudado.

<b>Método de irrigação</b>	<b>Eficiência Potencial (%)</b>
Irrigação superficial (sulcos, bacias)	45
Irrigação por aspersão (pivôs centrais)	90
irrigação por gotejamento (localizada)	90

\* Referente a eficiência global: eficiência de transporte, de canal de campo e de aplicação.

**Fonte:** (FAO, 2002).

## CAPÍTULO V – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Cenário A

Este cenário foi testado com principal objectivo de conhecer e avaliar o nível de satisfação das demandas actuais para a irrigação agrícola, abastecimento doméstico, incluindo as necessidades hídricas para a manutenção da vazão mínima ecológica na parte moçambicana da bacia do Limpopo, e seus impactos económicos acumulados pelos agricultores, em função das vazões fornecidas. Na simulação efectuada, considerou-se os actuais requerimentos médios mensais de cada usuário (rede de fluxo da **figura 4.8**); capacidade e o regime operacional actuais da barragem de Massingir.

Como posteriormente referido, o modelo Acquanet atende às demandas dentro da rede de fluxo, respeitando a posição de cada usuário na hierarquia de prioridades. Na **tabela 5.1** apresenta-se a ordem das prioridades assumidas e determinadas neste cenário, dos quais, os usuários Abast\_Domest; Qmin; Bar\_Massingir; Acu\_Macarretane e Oce\_Indico foram atribuídos benefícios “fictícios”, e as prioridades dos outros usuários (económicos) foram automaticamente determinadas pelo modelo, em função dos seus benefícios marginais obtidos por cada um dos cinco trechos económicos associados a cada usuário agrícola.

**Tabela 5.1:** Ordem das prioridades das demandas simuladas no cenário A.

<b>Cenário A</b>	
<b>Usuário</b>	<b>Benefícios (<math>10^3 \cdot \text{Mt}/(\text{m}^3/\text{s})</math>)</b>
Abast_Domest	300000
Qmin	250000
Reg_Chokwe	151669,5
Reg_Chokwe	147061,7
Reg_BLimp	146301,5
Reg_Chokwe	142593,8
Reg_BLimp	141745
Reg_Chokwe	138261,7
Reg_BLimp	137332
Reg_Chokwe	134061,2
Reg_BLimp	133056
Reg_BLimp	128912
Ass_Agricola	119986,4
Ass_Agricola	116250
Ass_Agricola	112630
Ass_Agricola	109122,7
Ass_Agricola	105724,7
Bar_Massingir	500
Acu_Macarretane	10
Oce_Indico	5

Os resultados desta simulação, (**tabela 5.2**), em relação ao atendimento das demandas actuais, mostram que as vazões fornecidas durante todo período considerado, dão uma garantia de provimento de água a 100 %, sem registo de falhas, nem fornecimentos abaixo das

vazões médias mensais necessárias. E com esta total satisfação das quantidades de água requeridas pelos usuários, verifica-se que os das demandas económicas conseguem obter ao máximo os benefícios anuais advindos do uso da água, sem nenhuma perda económica, que ocorreria caso houvesse disponibilidade restrita ou escassez de água.

**Tabela 5.2:** Resultados do cenário A, mostrando as vazões fornecidas aos actuais usuários e seus benefícios económicos.

Demandas	Usuário	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm <sup>3</sup> )	Vazão necessária (m <sup>3</sup> /s/mês)	Vazão média fornecida (m <sup>3</sup> /s/mês)	Valor Presente Líquido (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual mínimo (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual médio (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual máximo (10 <sup>3</sup> Mt)
Não Económicas	Abast_Domest	0	0	0	2,4	2,4	-	-	-	-
	Qmin	0	0	0	7,5	7,5	-	-	-	-
Económicas	Reg_BLimp	0	0	0	7,91	7,91	106.145.500,0	13.046.940,0	13.046.940,0	13.046.940,0
	Reg_Chokwe	0	0	0	8,57	8,57	119.417.800,0	14.678.310,0	14.678.310,0	14.678.310,0
	Ass_Agricola	0	0	0	5,27	5,27	58.008.650,0	7.130.166,0	7.130.166,0	7.130.166,0

Quanto aos resultados da barragem de Massingir, único nó de armazenamento, verificou-se que, pese embora ter garantido um atendimento de 100% para todas demandas, juntamente com os fluxos não regularizados do rio Limpopo, e não ter registado nenhum período de esvaziamento, a barragem oferece apenas uma probabilidade de permanência de 81,589%, para o reservatório ser operado sempre com disponibilidade hídrica igual ao seu actual volume útil, inicialmente definido nesta simulação, que é de 1323 Mm<sup>3</sup> (**tabela 5.3**).

**Tabela 5.3:** Resultados da barragem de Massingir obtidos no cenário A.

Reservatório	Tempo máximo abaixo do Volume Meta (meses)	Frequência abaixo do Volume Meta (%)	Volume acumulado vertido (Mm <sup>3</sup> )	Frequência com que houve vertimento (%)	Tempo máximo de esvaziamento (meses)	Frequência de esvaziamento (%)
Bar_Massingir	20	18,41	0	0	0	0

## 5.2 Cenário B

O cenário B foi simulado para uma avaliação da capacidade do sistema hídrico em estudo quanto ao seu atendimento às actuais e futuras demandas de água para irrigação agrícola e abastecimento doméstico, considerando as projecções para o ano 2017, e a permanência de garantia da vazão mínima ecológica, dentro das condições actuais de operação e do volume disponível da barragem de Massingir.

Diferentemente do caso A, que apresentou três demandas económicas, este cenário foi testado com cinco nós económicos, considerando situação futura (2017), o que alterou a rede de fluxo e suas prioridades de atendimento. Com base nos benefícios de cada usuário, na

**tabela 5.4** figura a nova hierarquização das prioridades de todas demandas que compuseram o sistema simulado nesta situação B. Vale ressaltar que, esta ordem de prioridades aqui apresentada, permaneceu constante também para os cenários C e D, pelo facto de ter sido as mesmas demandas simuladas e com suas respectivas curvas de benefício marginal, utilizadas para determinar os benefícios dos arcos económicos associados à curva de cada usuário.

**Tabela 5.4:** Hierarquização das prioridades de todas demandas que compuseram o sistema simulado nos cenários B, C e D.

<b>Usuário</b>	<b>Benefícios (<math>10^3 \cdot \text{Mt}/(\text{m}^3/\text{s})</math>)</b>
Abast_Domest	300000*
Q <sub>min</sub>	250000*
T AFC	223873,8
T AFC	216166,4
T AFC	208724,3
T AFC	201538,5
T AFC	194600
Empresas_Cana	158664,7
Empresas_Cana	153792
Reg_Chokwe	149772,8
Empresas_Cana	149069
Empresas_Cana	144491
Reg_Chokwe	141533,4
Reg_BLimp	140827,5
Empresas_Cana	140053,6
Reg_Chokwe	133747,2
Reg_Chokwe	126389,4
Reg_BLimp	126066,5
Ass_Agricola	119986,4
Reg_Chokwe	119436,4
Ass_Agricola	116250
Reg_BLimp	112852,5
Ass_Agricola	112630
Ass_Agricola	109122,7
Ass_Agricola	105724,7
Reg_BLimp	101024
Reg_BLimp	90435,5
Bar_Massingir	100
Acu_Macarretane	10
Oce_Indico	5

Contrariamente ao cenário anterior, que mostrou uma garantia de atendimento das demandas a 100%, os resultados deste cenário apresentaram déficits na satisfação das demandas actuais adicionadas às necessidades hídricas futuras (2017) (**tabela 5.5**). Dentro das

regras actuais de operacionalização do sistema hídrico em análise, e das limitações físicas da barragem de Massingir, o sistema mostrou-se incapaz até de atender as duas primeiras demandas prioritárias, que a princípio o seu atendimento não devia ser interrompido. Para a demanda de abastecimento doméstico verificou-se um volume acumulado de déficits de um pouco mais de 10 Mm<sup>3</sup> durante todo o período de simulação, com dois meses consecutivos recebendo uma vazão abaixo da demanda necessária. A Qmin com um volume de déficit de 88,33 Mm<sup>3</sup>, registou uma frequência de 1,55 % da vazão abaixo da quantidade requerida. E nas demandas económicas verificou-se 13 meses de tempo máximo abaixo das demandas mensais necessárias, exceptuando a TAFC que apresentou quatro meses, presumivelmente por ter uma vazão necessária muito menor, quando comparada com os outros usuários económicos, e por encabeçar a hierarquia das prioridades de atendimento das demandas destes usuários.

**Tabela 5.5:** Resultados obtidos na simulação do cenário B.

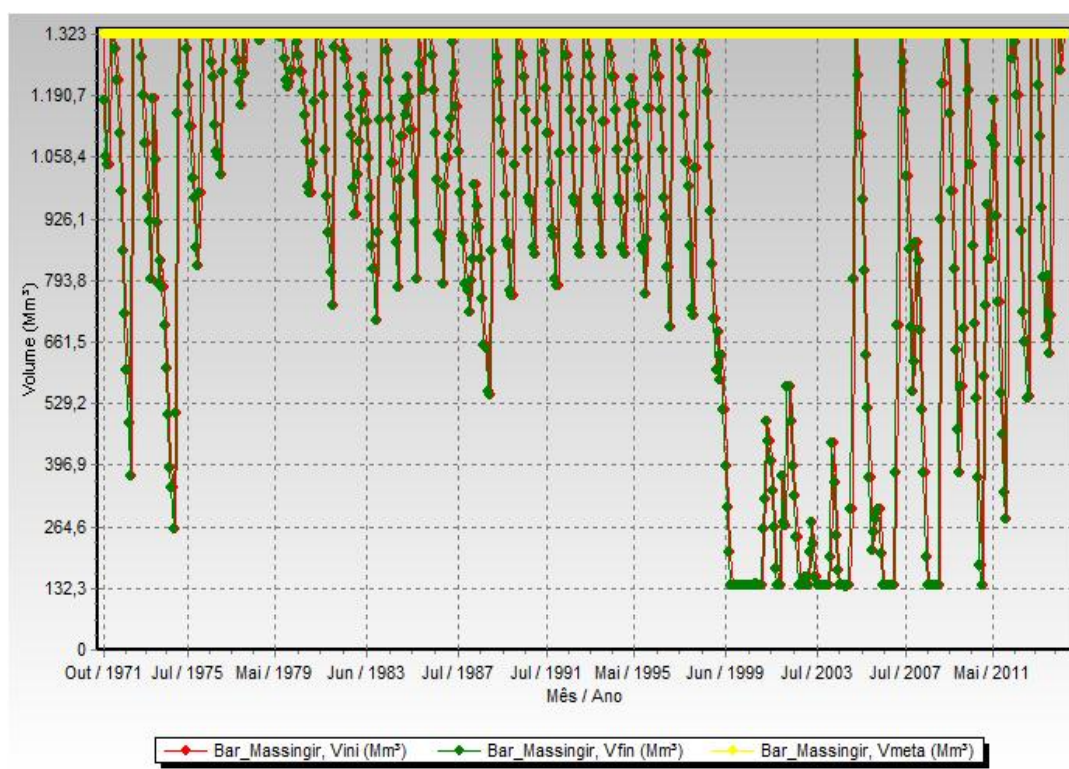
Demandas	Usuário	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm <sup>3</sup> )	Vazão necessária (m <sup>3</sup> /s/mês)	Vazão média fornecida (m <sup>3</sup> /s/mês)	Valor Presente Líquido (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual mínimo (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual médio (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual máximo (10 <sup>3</sup> Mt)
Não Económicas	Abast_Domest	2	0,39	10,275	2,560	2,552	-	-	-	-
	Qmin	4	1,55	88,327	7,5	7,435	-	-	-	-
Económicas	Ass_Agricola	13	9,5	678,628	5,270	4,77	57.314.190,0	0,0	6.453.075,0	7.130.166,0
	Empresas_Cana	13	8,72	2479,492	38,990	37,162	565.129.200,0	43.590.280,0	66.619.670,0	69.814.260,0
	Reg_BLimp	13	9,88	3424,44	27,68	25,155	305.243.800,0	2.046.556,0	34.521.510,0	37.946.840,0
	Reg_Chokwe	13	9,5	1607,048	15,72	14,535	204.046.000,0	6.046.359,0	23.442.710,0	25.307.710,0
	TAFC	4	1,55	5,676	0,270	0,266	5.508.704,0	508.362,8	667.308,4	677.817,1

Analisando economicamente os resultados acima dispostos, constata-se que os valores económicos marginais obtidos, tem uma relação directa com as quantidades de água alocadas para cada usuário económico, onde os maiores benefícios foram ganhos numa forma respectiva, do usuário que recebeu maior vazão média mensal (Empresas\_Cana) até aquele com menor vazão (TAFC). Entretanto, a não satisfação total das necessidades hídricas, teve uma consequência negativa, provocando aos usuários de irrigação agrícola um acúmulo de perdas económicas nos seus benefícios anuais, com destaque para o usuário Ass\_Agricola que chegou a registar um benefício mínimo igual a zero, como consequência de não alocação de nenhuma vazão durante um período total de um ano.

Através de uma estimativa aritmética, diferença entre os benefícios anuais máximos (que seriam obtidos na satisfação a 100% das vazões necessárias) e os benefícios médios, percebe-se que os usuários acumularam em média os seguintes custos: *Ass\_Agricola* teve um custo de 677.091x10<sup>3</sup>Mt; *Empresas\_Cana* com 3.194.590 x10<sup>3</sup>Mt; *Reg\_BLimp*

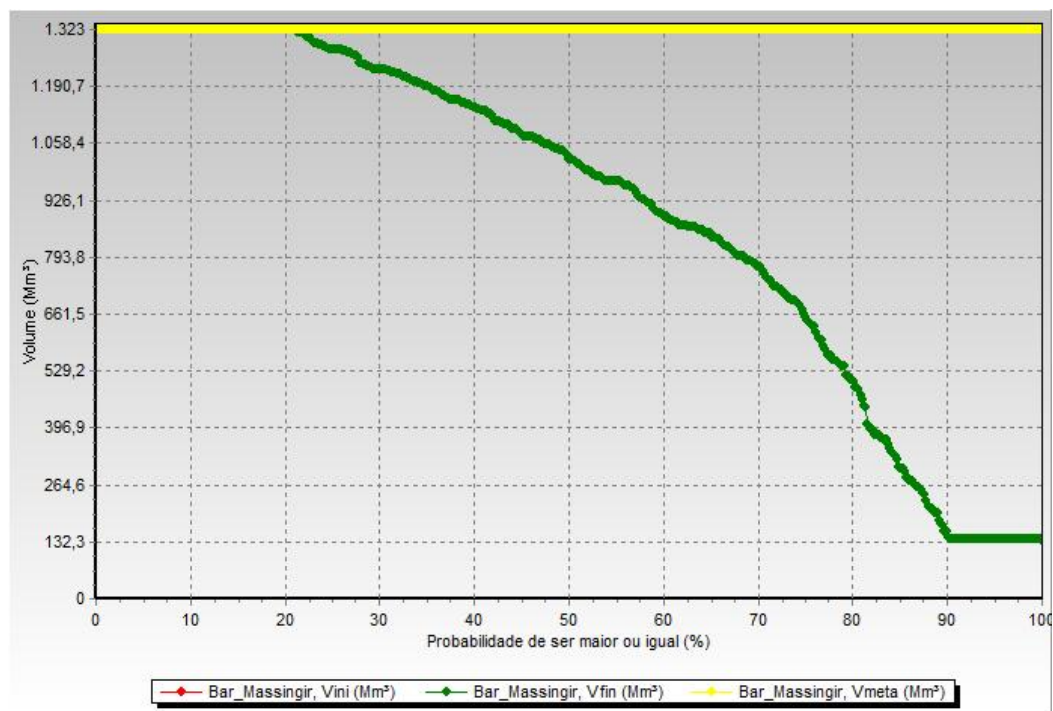
$3.425.330 \times 10^3 \text{Mt}$ ; *Reg\_Chokwe*  $1.865.000 \times 10^3 \text{Mt}$ , e a *T AFC* com cerca de  $10.508,7 \times 10^3 \text{Mt}$ . Destes e outros valores económicos alcançados neste cenário e os subsequentes, há que fazer ressalva de pouca confiabilidade para os resultados dos usuários *Reg\_BLimp* e *Reg\_Chokwe*, pelo facto de a quantidade média anual de água fornecida a cada um estar muito afastada do ponto real utilizado na expansão das suas funções de demanda.

Sobre a capacidade de suporte do sistema hídrico na satisfação das demandas, especificamente o comportamento do reservatório de Massingir ao longo do tempo simulado, verificou-se que este, com a sua capacidade actual operacional, não conseguiria atender as actuais e futuras demandas estimadas para o ano 2017. O reservatório chegou a registar um tempo máximo abaixo do volume meta de 80 meses, dos quais 13 de esvaziamento, e com uma frequência de um pouco mais de 9 % (**figura 5.1**).



**Figura 5.1:** Gráfico ilustrando o comportamento da barragem de Massingir durante a simulação do cenário B.

Na curva de permanência da **figura 5.2**, é possível observar que a garantia de operar a barragem de Massingir sempre cheia, reduziu de 81,6%, percentagem obtida só com as demandas actuais (cenário A), para uma probabilidade de 20,74% no cenário futuro (2017), significando isto 79,3% de frequência abaixo dos  $1323 \text{ Mm}^3$ , que constituem o actual volume útil da barragem.



**Figura 5.2:** Curva de probabilidade de permanência do actual volume máximo na barragem de Massingir.

### 5.3 Cenário C

Com o intuito de testar a mesma situação do cenário B, entretanto, assumindo um novo volume máximo do reservatório de Massingir, simulou-se este caso C. O objectivo fundamental deste cenário foi de simular o sistema em análise considerando a operação da barragem de Massingir na sua capacidade útil máxima (2696 Mm<sup>3</sup>), dentro das condições do seu nível pleno de armazenamento, para reavaliar a sua confiabilidade no atendimento das totais demandas futuras, projectadas para 2017, e analisar que impacto económico significaria em ter a barragem sem as actuais limitações físicas infraestruturais.

Comparando os resultados obtidos nos dois cenários, B e C, neste último caso nota-se um impacto positivo considerável no atendimento das demandas e, conseqüentemente, um aumento de benefícios médios anuais ganhos pelos usuários económicos. Para as demandas não económicas, abastecimento doméstico e Q<sub>min</sub>, por exemplo, os seus volumes acumulados de déficits na situação B (10,275 Mm<sup>3</sup> e 88,327 Mm<sup>3</sup>, respectivamente), ficaram reduzidos em mais de 50% no cenário C (4,52 Mm<sup>3</sup> e 47,935 Mm<sup>3</sup>). Pôde se perceber ainda dos resultados, que nas demandas económicas também houve uma diminuição significativa de frequência de vazões abaixo das demandas necessárias, onde diferente da TAFC que reduziu de quatro para três meses o tempo máximo abaixo as quantidades necessárias, os outros

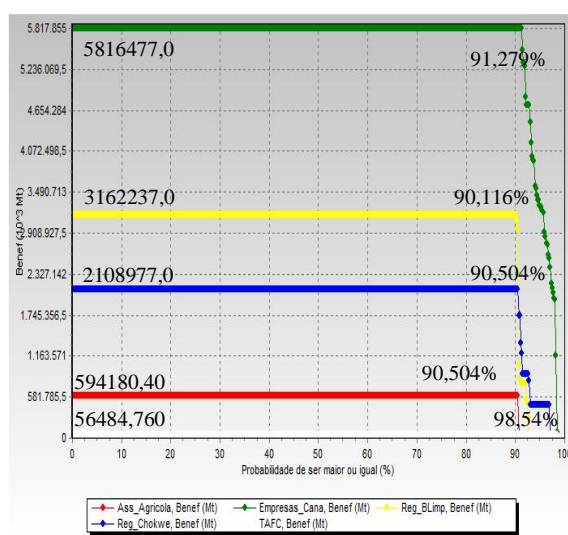


usuários reduziram dos 13 meses obtidos no cenário B, para 7 meses no caso C. Na **tabela 5.6** apresentam-se sintetizados os resultados da simulação do cenário C.

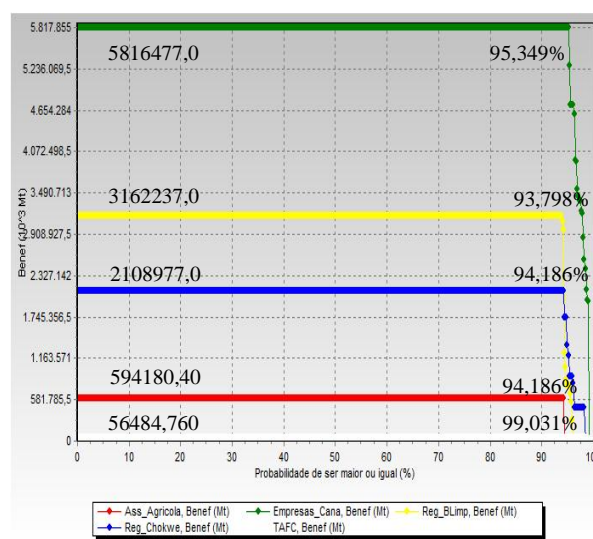
**Tabela 5.6:** Resultados do teste do cenário C, com a barragem de Massingir operado nas suas condições de NPA.

Demandas	Usuário	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm <sup>3</sup> )	Vazão necessária (m <sup>3</sup> /s/mês)	Vazão média fornecida (m <sup>3</sup> /s/mês)	Valor Presente Líquido (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual mínimo (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual médio (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual máximo (10 <sup>3</sup> Mt)
Não Económicas	Abast_Domest	1	0,19	4,52	2,560	2,557	-	-	-	-
	Qmin	3	0,97	47,935	7,50	7,465	-	-	-	-
Económicas	Ass_Agricola	7	5,81	415,487	5,270	4,964	57.641.070,0	2.970.902,0	6.715.620,0	7.130.166,0
	Empresas_Cana	7	4,84	1349,031	38,990	37,995	566.623.700,0	51.002.640,0	68.077.440,0	69.814.260,0
	Reg_BLimp	7	6,2	2058,775	27,68	26,162	306.907.100,0	16.888.660,0	35.897.190,0	37.946.840,0
	Reg_Chokwe	7	5,81	921,298	15,72	15,041	204.973.500,0	13.319.220,0	24.241.450,0	25.307.710,0
	TAFC	3	0,97	3,548	0,270	0,267	5.511.219,0	564.847,6	671.249,4	677.817,1

E em termos de ganhos económicos, comparativamente ao caso B, neste cenário todos os usuários verificaram um incremento nas suas probabilidades de obter benefícios máximos anuais (**figura 5.3**), isto porque mais água pôde ser alocada para cada um. As estimativas baseadas no indicador VPL (diferença entre Cenário C e B), mostram a seguinte recuperação económica para cada usuário durante todo o período de simulação: Ass\_Agricola = 326 880x10<sup>3</sup> Mt; Empresas\_Cana = 1 494 500 x10<sup>3</sup> Mt; Reg\_BLimp = 1 663 300 x10<sup>3</sup> Mt; Reg\_Chokwe = 927 500 x10<sup>3</sup> Mt, e a TAFC = 2 515 x10<sup>3</sup> Mt.



Probabilidades de obtenção de benefícios máximos mensais no cenário B.



Probabilidades de obtenção de benefícios máximos mensais no cenário C.

**Figura 5.3:** Gráficos das probabilidades de obtenção de benefícios máximos mensais nos cenários B e C.

Em relação ao reservatório de Massingir (neste cenário C) operando no seu NPA (cota 125 m, correspondente ao volume útil de 2696 Mm<sup>3</sup>), percebeu-se que este, com uma

probabilidade de permanência de 18,992%, consegue reduzir a escassez ou disponibilidade limitada verificada no atendimento às demandas projectadas para 2017 no cenário B, que considerou a capacidade operacional actual (cota 115 m, volume útil igual a 1323 Mm<sup>3</sup>). Na **tabela 5.7** pode-se reparar que, apesar de se ter incrementado o tempo máximo do reservatório de Massingir abaixo do seu volume meta (+ 50 meses), isto por conta do novo volume máximo da barragem que aumentou, a operação do reservatório no seu NPA consegue minimizar a escassez, reduzindo aproximadamente 4 % de frequência de esvaziamento da barragem, facto que influi positivamente na satisfação das vazões requeridas pelos principais usuários de água na área de estudo.

**Tabela 5.7:** Resultados comparativos do comportamento da barragem de Massingir nos cenários B e C.

Cenário	Reservatório	Tempo máximo abaixo do Volume Meta (meses)	Frequência abaixo do Volume Meta (%)	Volume acumulado vertido (Mm <sup>3</sup> )	Frequência com que houve vertimento (%)	Tempo máximo de esvaziamento (meses)	Frequência de esvaziamento (%)
B	Bar_Massingir	80	79,26	0	0	13	9,88
C	Bar_Massingir	130	81,01	0	0	7	6,2
<b>Diferença</b>		-50	-1,75	0	0	6	3,68

#### 5.4 Cenário D

O cenário D foi testado com principal finalidade de considerar as projecções de consumo de água nos países a montante (África do Sul, Zimbabué e Botswana), que compartilham a bacia do Limpopo com Moçambique, e examinar o seus impactos sobre o sistema hídrico em estudo. Para tal, em função dos dados disponíveis, foram feitas estimativas das necessidades hídricas dos três países para o ano 2025, e na parte moçambicana da bacia, assumiu-se constantes as demandas de água calculadas para 2017. Este cenário foi simulado segundo a configuração do caso C, todavia, com principal diferença nas suas séries fluviométricas, dados de entrada para as vazões naturais/afluentes na barragem de Massingir (rio Elefantes) e no rio Limpopo.

Para a obtenção destas novas séries “sintéticas” foi necessário estimar os incrementos totais anuais de cada país para o ano 2025. Uma vez que todos os rios da bacia do Limpopo por parte do Zimbabué e do Botswana são tributários do rio Limpopo, os seus aumentos anuais foram considerados dentro deste afluente no território moçambicano. E a projecção de consumo do lado da África do Sul, foi dividida entre os rios Elefantes e Limpopo. Segundo LBPTC (2010), no total das demandas de água na parte sul-africana da bacia, a sub-bacia do rio Elefantes representa 30% do uso da água, o que analogamente constitui 70% para o rio

Limpopo e outros seus tributários dentro da bacia. Com isto, foram consideradas estas percentagens para estimar as projecções de consumo de cada rio sul-africano.

As estimativas indicam para o rio Elefantes um incremento de 5,66 m<sup>3</sup>/s/ano (30% do total projectado para África do Sul) para o ano de 2025, e 25,46 m<sup>3</sup>/s/ano para o rio Limpopo (70% do total projectado para África do Sul, mais estimativa do Zimbabwé e do Botswana). Este aumento de consumo em cada um dos dois afluentes na parte moçambicana da bacia (Elefantes e Limpopo) foi proporcionalmente considerado (subtraído) nas médias mensais das séries históricas observadas, obtendo-se desta forma novas séries de vazões fluviométricas utilizadas neste cenário. Constan na **tabela 5.8**, as estimativas de projecções de consumo para os três países a montante do sistema hídrico analisado.

**Tabela 5.8:** Estimativas de projecções de consumo para os três países que compartilham a bacia do Limpopo com Moçambique.

País	*Projecções de consumo (Mm <sup>3</sup> /ano)			**Incremento anual (Mm <sup>3</sup> /ano)	** Estimativas do ano 2013 (Mm <sup>3</sup> /ano)	**Total de Incremento até 2025	
	2010	2020	2025			(Mm <sup>3</sup> /ano)	m <sup>3</sup> /s/ano
África do Sul	3030	-	3774,2	49,61	3178,84	595,36	18,88
Zimbabwé	1366	-	1822	30,4	1457,2	364,8	11,57
Botswana	101	118	**126,5	1,7	106,1	20,4	0,65

\*Fonte: (LBPTC, 2010; e ASHTON, P. J. et al. 2008).

\*\* Estimativas próprias do autor.

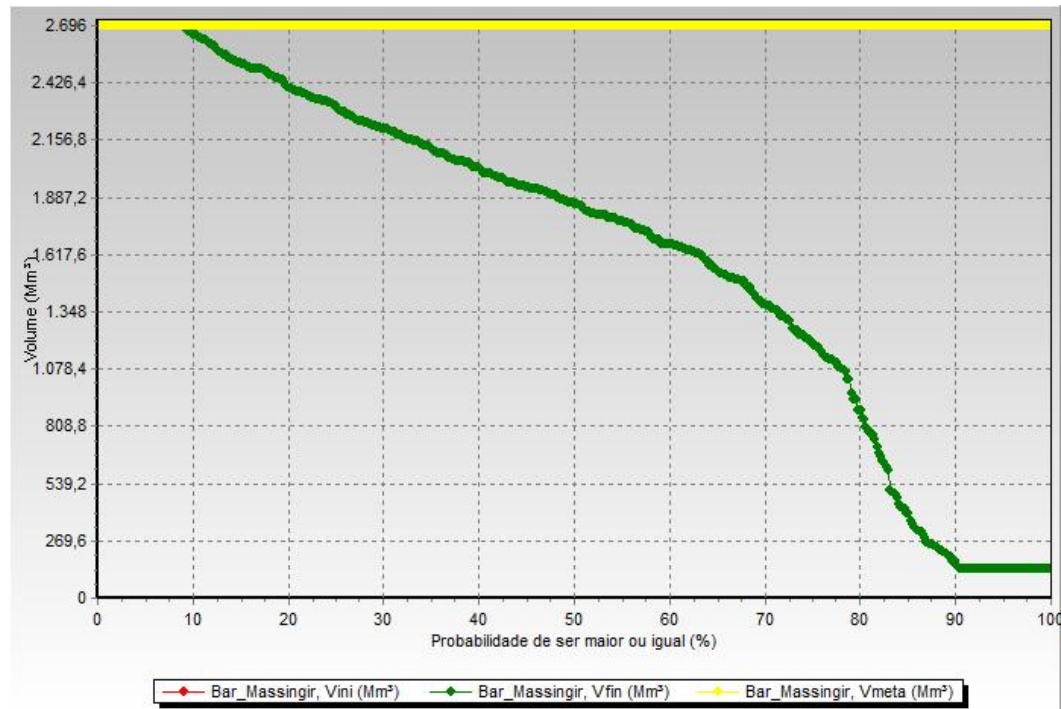
Com a consideração das projecções de consumo de água nos países que compartilham a BRL com Moçambique, os resultados obtidos nesta simulação mostram que esta situação irá sobremaneira, reduzir o fluxo de água no território moçambicano, cenário que vai piorar a capacidade de suporte do sistema hídrico estudado. Como ilustra a **tabela 5.9**, para todos os usuários aumentou a frequência de fornecimento de vazões abaixo do necessário, contrariando a minimização de escassez da água que foi alcançada no cenário anterior (C), com a operação da barragem no seu NPA.

Por conta deste aumento de consumo nos países a montante, o sistema tornar-se-a cada vez mais incapaz de atender tanto as demandas projectadas para 2017, como também não confere segurança para expansão de mais áreas para as actividades agrícolas. Por outro lado, compromete, inclusive, a satisfação das necessidades de água para o abastecimento doméstico e manutenção da vazão ambiental que, pela hierarquia de prioridades, devia se conferir uma garantia de 100%. Põe ainda em causa os ganhos médios anuais das demandas económicas.

**Tabela 5.9:** Resultados do cenário D, considerando as projecções de consumo dos três países que compartilham a bacia do Limpopo com Moçambique.

Demandas	Usuário	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm³)	Vazão necessária (m³/s/mês)	Vazão média fornecida (m³/s/mês)	Valor Presente Líquido (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual mínimo (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual médio (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual máximo (10 <sup>3</sup> Mt)
Não Económicas	Abast_Domest	4	0,97	23,678	2,560	2,543	-	-	-	-
	Qmin	5	1,55	126,381	7,50	7,407	-	-	-	-
Económicas	Ass_Agricola	10	9,5	673,083	5,270	4,774	57.333.000,0	2.031.769,0	6.458.871,0	7.130.166,0
	Empresas_Cana	9	8,91	3172,944	38,990	36,65	564.067.100,0	40.119.750,0	65.706.630,0	69.812.890,0
	Reg_BLimp	10	9,5	3473,951	27,68	25,118	305.206.400,0	12.222.300,0	34.451.870,0	37.946.840,0
	Reg_Chokwe	10	9,3	1817,787	15,72	14,38	203.756.800,0	9.352.044,0	23.168.660,0	25.307.710,0
	T AFC	5	1,55	5,676	0,270	0,266	5.508.635,0	451.878,0	667.308,6	677.817,1

A barragem de Massingir, operada no seu volume em condições de NPA, com o aumento das abstracções de água a montante do sistema hídrico da parte moçambicana, oferece apenas uma probabilidade de permanência de 8,721%, (**figura 5.4**), para que se tenha sempre o reservatório cheio. E a frequência de seu esvaziamento subiu de 6,2% obtidos no cenário C, para 9,69 %, correspondendo cerca de dez meses de tempo máximo sem nenhuma disponibilidade hídrica para atender as demandas.



**Figura 5.4:** Probabilidade de ter o reservatório de Massingir sempre cheio, considerando as condições do cenário D.

## 5.5 Cenário E

Por se considerar que a actual regra de operação do reservatório de Massingir pode não ser muito flexível e eficiente na resposta das demandas futuras, testou-se através deste cenário E, uma nova técnica de operação da única infraestrutura de regularização no sistema analisado, o que permitiu avaliar e mostrar uma opção diferente para a alocação de água, que pode ser adoptada no atendimento das demandas dos principais usuários, com base nas suas prioridades sócio-económicas e ambientais.

Ao contrário dos outros cenários a posterior testados com o submodelo de economia, para este cenário foi utilizado como recurso do Acquanet, o modelo simples de alocação de água, que permitiu o uso da opção de cálculo Estados Hidrológicos, para a definição de níveis/estados de alerta na barragem de Massingir. Esta ferramenta permite ao usuário definir prioridades de satisfação das demandas em função da quantidade de água disponível no reservatório e da época do ano (períodos críticos). Para tanto, neste cenário foram considerados três níveis de alerta do reservatório de Massingir: seco, médio e úmido.

De acordo com a descrição do ponto 2.3.2.1, para a definição de fronteiras entre os três estados, devem ser fornecidos dois valores ( $x_1$  e  $x_2$ ) que são utilizados para em cada mês, indicar o estado hidrológico do sistema. Com isto, para se atingir o escopo desta simulação, sem procurar rigorosamente a optimização absoluta e concludente do sistema hídrico em análise, definiu-se aleatoriamente 40 % para  $x_1$  e 80% ao  $x_2$ , percentagem que multiplica-se com o volume máximo inicialmente definido para o reservatório de Massingir. Realçar que a prioridade do reservatório de armazenar a água vai aumentando com a redução do nível da água na barragem.

E como forma de mostrar que com esta regra é possível, mesmo em períodos críticos, garantir uma satisfação contínua de água aos usuários tidos com prioritários, as demandas de abastecimento doméstico e vazão mínima e os dois regadios (Chókwè e Baixo Limpopo) foram conferidas uma garantia de 100 % em todos os níveis, e segue o reservatório no estado crítico ( $E_1$ ), que irá atender apenas estes usuários e armazenar a água para disponibilizar nos períodos subsequentes, começando sempre com os usuários que encabeçam a hierarquia das prioridades. Na **tabela 5.10** observa-se a ordem/hierarquia das prioridades adoptadas neste teste.

**Tabela 5.10:** Ordem das prioridades adoptadas no cenário E para testar a nova regra de operação do sistema hídrico (barragem de Massingir) da parte moçambicana da BRL.

Cenário E					
Usuário	Prioridade Estado Hidrológico 1 (EH1)	Usuário	Prioridade Estado Hidrológico 2 (EH2)	Usuário	Prioridade Estado Hidrológico 3 (EH3)
Abast_Domest	1	Abast_Domest	1	Abast_Domest	1
Qmin	2	Qmin	2	Qmin	2
Reg_Chokwe	5	Reg_Chokwe	9	Reg_Chokwe	3
Reg_BLimp	5	Reg_BLimp	9	Reg_BLimp	3
Bar_Massingir	10	TAFC	10	TAFC	4
Ass_Agricola	85	Ass_Agricola	10	Ass_Agricola	4
TAFC	85	Empresas_Cana	10	Empresas_Cana	4
Empresas_Cana	85	Bar_Massingir	80	Bar_Massingir	90
Acu_Macarretane	95	Acu_Macarretane	95	Acu_Macarretane	95
Oce_Indico	99	Oce_Indico	99	Oce_Indico	99

Seguindo esta ordem de prioridades, nos resultados da **tabela 5.11** pode se notar que os quatro usuários definidos como prioritários tiveram um atendimento 100% satisfatório ao longo de todos os meses do horizonte temporal desta simulação. E, em contrapartida, aumentaram-se as probabilidades de ocorrência de falhas no abastecimento de água para aqueles usuários que foram menos prioritários no estado seco do reservatório de Massingir. Em termos de valores absolutos, comparando com os resultados do cenário anterior, os usuários Ass\_Agricola, Empresas\_Cana e TAFC tiveram as frequências de ocorrência de falhas aumentadas em 6,97%; 7,56% e 14,15%, respectivamente (**figura 5.5**).

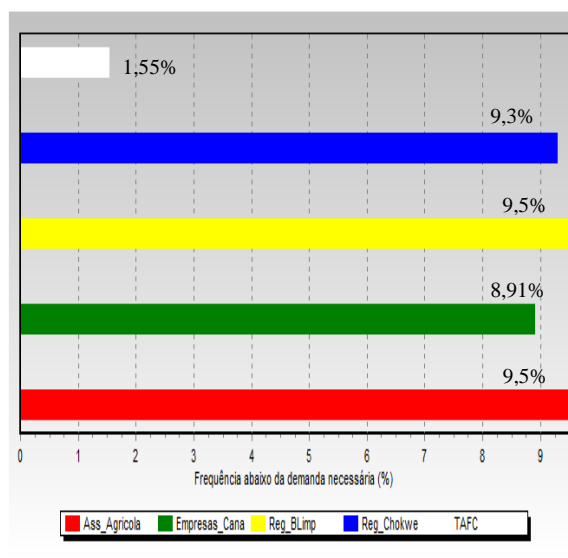


Gráfico de probabilidades de ocorrência de falhas no atendimento das demandas económicas, Cenário D.

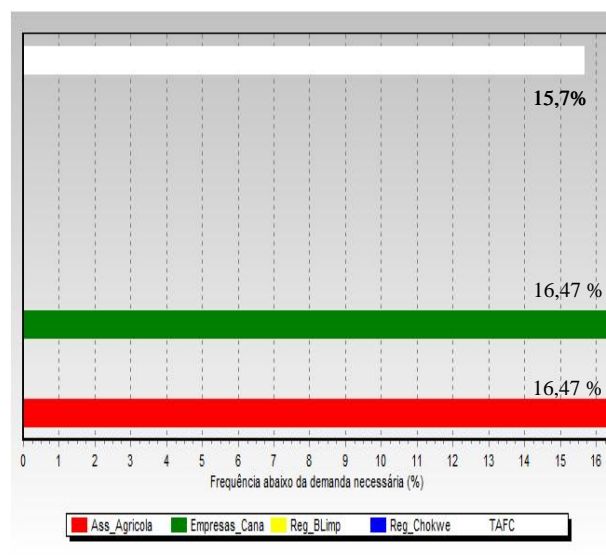


Gráfico de probabilidades de ocorrência de falhas no atendimento das demandas económicas, Cenário E.

**Figura 5.5:** Gráficos das frequências abaixo das demandas necessárias para os usuários económicos, cenários C e D.

Esta situação dicotômica, entretanto flexível, no fornecimento de água através desta nova operação alternativa, não só gera déficits para alguns usuários, como também pode ter

seus impactos sócioeconómicos directos. Por exemplo, aos usuários económicos que neste caso analisado foram garantidos uma satisfação de 100 % das suas necessidades hídricas, conseguiram obter benefícios máximos anuais em todo o período de simulação, o que incrementou o VPL em  $3\,629\,721,99 \times 10^3$  Mt para o Reg\_BLimp e em  $2\,213\,842,42 \times 10^3$  Mt para o Reg\_Chokwe, quando comparado com os ganhos do cenário D. E aos que sofreram racionamentos, analogamente, tiveram que acumular perdas económicas por conta do atendimento limitado, custos de escassez da água.

**Tabela 5.11:** Resultados do cenário E, com a consideração da nova regra operacional do reservatório de Massingir.

Demandas	Usuário	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm <sup>3</sup> )	Vazão necessária (m <sup>3</sup> /mês)	Vazão média fornecida (m <sup>3</sup> /mês)	Valor Presente* Líquido (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual** mínimo (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual** médio (10 <sup>3</sup> Mt)	Benefício anual** máximo (10 <sup>3</sup> Mt)
Não Económicas	Abast_Domest	0	0	0	2,560	2,56	-	-	-	-
	Qmin	0	0	0	7,50	7,5	-	-	-	-
"Económicas"	Ass_Agricola	19	16,47	1177,213	5,270	4,402	-	-	-	7.130.166,0
	Empresas_Cana	19	16,47	8463,743	38,990	32,749	-	-	-	69.812.890,0
	Reg_BLimp	0	0	0	27,68	27,68	308.836.121,99	37.946.840,0	37.946.840,0	37.946.840,0
	Reg_Chokwe	0	0	0	15,72	15,72	205.970.642,42	25.307.710,0	25.307.710,0	25.307.710,0
	T AFC	19	15,7	57,474	0,270	0,228	-	-	-	677.817,1

Quanto ao comportamento da barragem de Massingir neste cenário, contrariamente dos cenários B, C e D, neste teste da nova regra para operacionalização do sistema hídrico, destaca-se o facto de o reservatório não ter registado nenhum esvaziamento ao longo de todo horizonte de simulação, isto como resultado da alta prioridade concedida a barragem no estado hidrológico seco. Contudo, saliente-se que, a definição de estados hidrológicos no reservatório, tampouco aumenta influxos de água na barragem, apenas possibilita o armazenamento de água que é disponibilizada nos períodos posteriores. Se se reparar para o gráfico da **figura 5.6**, percebe-se que com muita frequência o volume meta permaneceu abaixo do necessário, onde chegou a atingir 144 meses de tempo máximo sem atingir o seu volume máximo de 2696 Mm<sup>3</sup>.

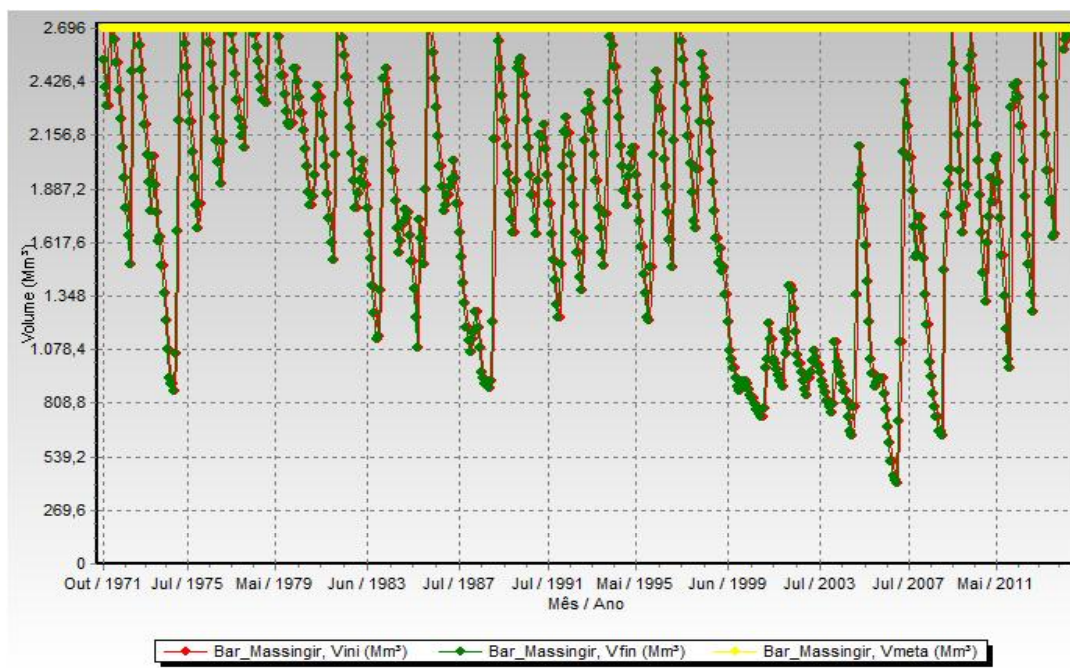


Figura 5.6: Gráfico ilustrando os meses com volume meta da barragem de Massingir abaixo do necessário durante a simulação do cenário E.

## 5.6 Análise global da distribuição dos benefícios/custos económicos obtidos pelos usuários agrícolas na simulação dos cinco cenários propostos

Tabela 5.12: Benefícios económicos médios anuais alcançados pelos usuários agrícolas nos diferentes cenários.

Usuários de demandas económicas	Cenário A				*Qmed. nec. (m³/s/mês)	Cenário B		Cenário C		Cenário D		Cenário E		***benefício máximo anual possível nos cenários B, C, D e E (10³Mt/ano)
	Qmed. nec. (m³/s/mês)	Qmed. fornec. (m³/s/mês)	benefício médio anual (10³Mt/ano)	benefício máximo anual possível (10³Mt/ano)		Qmed. fornec. (m³/s/mês)	benefício médio anual (10³Mt/ano)	Qmed. fornec. (m³/s/mês)	benefício médio anual (10³Mt/ano)	Qmed. fornec. (m³/s/mês)	benefício médio anual (10³Mt/ano)	Qmed. fornec. (m³/s/mês)	**benefício médio anual (10³Mt/ano)	
Reg_BLimp	7,91	7,91	13.046.940,0	13.046.940,0	27,68	25,155	34.521.510,0	26,162	35.897.190,0	25,118	34.451.870,0	27,68	37.946.840,0	37.946.840,0
Reg_Chokwe	8,57	8,57	14.678.310,0	14.678.310,0	15,72	14,535	23.442.710,0	15,041	24.241.450,0	14,38	23.168.660,0	15,72	25.307.710,0	25.307.710,0
Ass_Agricola	5,27	5,27	7.130.166,0	7.130.166,0	5,270	4,77	6.453.075,0	4,964	6.715.620,0	4,774	6.458.871,0	4,402	-	7.130.166,0
TAFC					0,270	0,266	667.308,4	0,267	671.249,4	0,266	667.308,6	0,228	-	677.817,1
Empresas_Cana					38,990	37,162	66.619.670,0	37,995	68.077.440,0	36,65	65.706.630,0	32,749	-	69.812.890,0

\*vazões médias mensais necessárias para cada usuário, utilizadas na simulação dos últimos quatro cenários (B,C,D e E).

\*\*este benefício médio anual, que coincidentemente é igual ao benefício máximo anual possível, foi determinado analogamente por conta de atendimento a 100% das necessidades hídricas dos respectivos usuários (Reg\_Blimp e Reg\_Chokwe).

\*\*\*nos últimos quatro cenários (B,C,D e E), devido a não variação da quantidade mensal de água necessária para cada usuário em todos os cenários, os possíveis benefícios máximos anuais mantiveram-se constantes.

De forma geral, a **tabela 5.12** mostra os benefícios totais agrícolas alcançados pelos principais usuários, em função do nível de satisfação das suas demandas hídricas mensais nos cinco diferentes cenários a posterior propostos e simulados. No cenário A, simulação da situação actual, com uma satisfação a 100 % das necessidades de água viu se que os usuários agrícolas conseguiram obter benefícios máximos anuais em todo período de simulação.



No cenário B, que considerou-se as demandas totais futuras estimadas para 2017, houve uma realocação de água segundo as novas demandas, vazões necessárias e suas prioridades de atendimento. Com isto, pelo facto de não disponibilidade suficiente de água para garantir total atendimento, os usuários obtiveram seus benefícios médios anuais abaixo daqueles que seriam seus ganhos máximos anuais se o fornecimento fosse na sua totalidade. O usuário *Ass\_agricola* por exemplo, o seu benefício médio anual reduziu cerca de 9,5% ( $677.091 \cdot 10^3$  Mt/ano) do cenário A para B devido a redução na satisfação das suas necessidades mensais, de  $5,27 \text{ m}^3/\text{s}$  para  $4,77 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Ao se mudar do cenário B (política de operação e capacidades actuais da barragem de Massingir) para o C (política de operação actual, entretanto assumindo a capacidade máxima “NPA”), percebe-se que os usuários agrícolas registaram um incremento considerável nos seus benefícios médios anuais, chegando aproximadamente uma média 2,75% de aumento nos ganhos. Na sequência, os usuários conseguiram os seguintes incrementos: *Ass\_agricola* aumentou  $262.545 \cdot 10^3$  Mt/ano; *Reg\_Blimp*  $1.375.680 \cdot 10^3$  Mt/ano; *Reg\_Chokwe* com  $798.740 \cdot 10^3$  Mt/ano; *T AFC*  $3.941 \cdot 10^3$  Mt/ano e *Empresas\_Cana*  $1.457.770 \cdot 10^3$  Mt/ano.

Comparando os casos C e D (política de operação actual, assumindo a capacidade máxima “NPA” e considerando as projecções de consumo dos países de montante) vê-se que o incremento de ganhos relacionado com o cenário C (2,75%), aqui neste caso D, diminuiu em uma média aritmética de cerca de 0,55%, mostrando o grau de impacto negativo que terá-se com o aumento de abstracções de água pelos países de montante. E a mudança do cenário D para o E, provocou um aumento de benefícios apenas para os usuários *Reg\_Blimp* e *Reg\_Chokwe* que tiveram um incremento nos seus benefícios médios anuais de  $3.494.970 \cdot 10^3$  Mt/ano e  $2.139.050 \cdot 10^3$  Mt/ano respectivamente, como impacto da nova política de operação e alocação de água no sistema estudado, que conferiu a estes (usuários) uma satisfação de 100% das suas necessidades hídricas mensais, e de forma análoga um aumento de perdas económicas para os outros usuários que viram seu nível de atendimento reduzido.

### **Custos económicos acumulados pelos usuários devido a escassez de água**

A **tabela 5.13** apresenta de forma sumarizada a distribuição global das perdas económicas acumuladas pelos usuários agrícolas na área de pesquisa. Dos cinco cenários simulados neste estudo, os resultados aqui mostrados correspondem apenas a três casos, B, C

e D, pelo facto de no cenário A os usuários não terem registado perdas económicas, e na última situação, E, ter sido aplicado um outro submodelo do Acquanet (submodelo de alocação de água), que em função das vazões alocadas, não permite aferir os benefícios económicos.

**Tabela 5.13:** Custos médios anuais de escassez de água para os usuários agrícolas, nos diferentes cenários simulados (B,C e D).

Usuários de demandas económicas	*Qmed. nec. (m <sup>3</sup> /s/mês)	Cenário B			Cenário C			Cenário D		
		Qmed. fornec. (m <sup>3</sup> /s/mês)	Qmed. escassez (m <sup>3</sup> /s/mês)	Custo médio anual da escassez de água (10 <sup>3</sup> Mt/ano)	Qmed. fornec. (m <sup>3</sup> /s/mês)	Qmed. escassez (m <sup>3</sup> /s/mês)	Custo médio anual da escassez de água (10 <sup>3</sup> Mt/ano)	Qmed. fornec. (m <sup>3</sup> /s/mês)	Qmed. escassez (m <sup>3</sup> /s/mês)	Custo médio anual da escassez de água (10 <sup>3</sup> Mt/ano)
Reg_BLimp	27,68	25,155	2,525	3.425.330,0	26,162	1,518	2.049.650,0	25,118	2,562	3.494.970,0
Reg_Chokwe	15,72	14,535	1,185	1.865.000,0	15,041	0,679	1.066.260,0	14,38	1,340	2.139.050,0
Ass_Agricola	5,270	4,77	0,500	677.091,0	4,964	0,306	414.546,0	4,774	0,496	671.295,0
TAFC	0,270	0,266	0,004	10.508,7	0,267	0,003	6.567,7	0,266	0,004	10.508,5
Empresas_Cana	38,990	37,162	1,828	3.193.220,0	37,995	0,995	1.735.450,0	36,65	2,340	4.106.260,0

Devido o não atendimento a 100% das vazões médias mensais demandadas pelos usuários, estes, foram acumulando a cada mês custos económicos. Dentro das condições de simulação dos três cenários mostrados (**tabela 5.13**), na situação B os usuários registaram em média uma perda anual de  $1.834.229,9 \cdot 10^3$  Mt/ano, na qual o *Reg\_Blimp* aparece com maior perda,  $3.425.330 \cdot 10^3$  Mt/ano, correspondente ao acúmulo de déficit mensal de 2,525 m<sup>3</sup>/s durante todo o período simulado. Ao se confrontar os resultados, vê-se que deste cenário (B) para o C, os usuários tiveram seus custos reduzidos em um pouco mais de 40%, isto porque houve diminuição de escassez de água em uma média de aproximadamente igual a 38,4%. Entretanto, no caso D, cenário que apresentou os maiores custos económicos, os resultados mostram uma situação inversa, na qual as perdas económicas acumuladas no caso C aumentaram para todos os usuários agrícolas, com um incremento médio aproximado de 86%, equivalentes a uma subida de custos médios anuais de  $1.029.922,0 \cdot 10^3$  Mt/ano. Para os custos económicos registados neste cenário (D) como consequência de aumento de escassez de água, merecem ainda destaque os usuários *Reg\_Chokwe* e *Empresas\_Cana* que obtiveram mais de 100% ( $1.072.790 \cdot 10^3$  Mt/ano e  $2.370.810 \cdot 10^3$  Mt/ano respectivamente) de incremento de perdas quando relacionados com os resultados da situação C.

## **CAPÍTULO VI – REFLEXÕES GERAIS**

### **6.1 Considerações**

O conhecimento do valor económico da água alocada para a irrigação agrícola constitui uma base fundamental para tornar eficiente o planeamento, gestão e uso da água alocada para neste sector. Os agricultores, cientes do valor da água, dos benefícios ganhos com a satisfação das suas necessidades e dos custos em caso de escassez da água, podem ser induzidos a um uso de água mais racional e maximização da produtividade em cada m<sup>3</sup> alocado. Às entidades e/ou aos gestores que fazem o planeamento e gestão da água e das infraestruturas dos sistemas hídricos tem o valor económico como mais uma base de decisão na oferta e alocação de água entre os usuários. Podem ainda definir preços adequados e compatíveis ao valor da água, visando reduzir as demandas excessivas, e desta feita, mudar o comportamento dos usuários.

Quanto à capacidade de suporte do sistema hídrico estudado, dentro das condições actuais de capacidade e operação da barragem de Massingir, o sistema mostrou-se capaz de conferir uma garantia de 100 % de satisfação só para as necessidades actuais, sem ocorrência de falhas, o que garante actualmente a obtenção de benefícios máximos anuais aos usuários. Entretanto, na situação operacional actual, verificou-se a incapacidade do sistema em acomodar as demandas futuras e satisfazer todos requerimentos sem apresentar deficits. E o reservatório chega a observar esvaziamento com uma frequência de 9,88 %, situação que poderá resultar em acúmulo de perdas económicas para os principais usuários agrícolas.

Com consideração de operação da barragem de Massingir na sua capacidade máxima (nível pleno de armazenamento), o sistema hídrico da parte moçambicana da bacia do Limpopo consegue reduzir as probabilidades de esvaziamento do reservatório e os deficits em mais de 36% para todos os usuários. Entretanto, observou-se que a situação de atendimento abaixo dos volumes necessários, tenderá ao pior com o aumento das abstracções de água previsto nos países a montante, o que significa que o sistema não conseguirá até 2017 satisfazer todas as demandas previstas, e nem acomodar a expansão e exploração de mais áreas para a produção agrícola.

Os resultados do cenário E, teste da nova regra de operação do reservatório de Massingir, mostraram que a definição de níveis de alerta e garantia de atendimento prioritário para alguns usuários, poderia tornar flexível a operacionalização de todo sistema hídrico da

parte moçambicana da bacia do Limpopo. Na base de prioridades, dentro das limitações físicas da barragem, associadas às disponibilidades de água em depleção, é possível um planejamento e gestão eficiente daquela bacia, que possa evitar ou minimizar a escassez da água naquelas demandas que por sua natureza sócio-económica e ambiental tem alta priorização.

## **6.2 Limitações da pesquisa**

Embora tenha-se atingido os objectivos propostos para este trabalho, os resultados alcançados foram sujeitos à algumas incertezas dos métodos adoptados e simplificações feitas, como forma de melhorar e/ou solucionar limitações estritamente relacionadas com lacunas nos dados utilizados e indisponibilidade de outras informações necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa.

Dos dados disponíveis, salienta-se as grandes falhas nas séries de vazões históricas observadas nos rios Limpopo e Elefantes, que para sua utilização foi feito preenchimento de lacunas usando equações lineares obtidas através do método de regressão simples, o que influenciou com algumas subestimativas e superestimativas dos dados históricos, deixando as séries utilizadas com grau não muito representativo da sequência dos fluxos futuros.

As simplificações feitas para a determinação das demandas hídricas médias mensais dos principais usuários na área de estudo condicionaram a consideração de sua sazonalidade nas simulações efectuadas, facto que impossibilitou as análises de alocação da água e obtenção de benefícios económicos tomando em afeição as variabilidades climáticas (períodos húmidos e/ou críticos). Para tal, seria necessário calcular as exigências de água das principais culturas praticadas durante os seus ciclos produtivos, utilizando métodos que contemplassem as características climáticas da região, tipos de solo, coeficientes de culturas, e outros parâmetros.

Outra limitação que merece atenção neste trabalho é o tamanho de amostra usado para a determinação do custo de bombeamento da água, e o valor de elasticidade-preço da demanda adoptado para a construção das curvas de demanda da água dos principais usuários considerados no sistema hídrico analisado. Para a estimativa do custo de bombeamento foram apenas considerados dados de um usuário (empresa MAI, SA), o que não garantiu maior confiabilidade no valor estimado. Um número maior de dados diferentes sobre os custos de

bombear água para irrigação agrícola, teria sido mais fiável para o cálculo de uma média representativa.

Em relação ao valor de elasticidade-preço da demanda utilizado, apesar de ter sido estimado na região (sub-bacia do rio Elefantes) próxima da área pesquisada, há que considerar a sua influência agregada de incertezas nos resultados obtidos. Na existência/disponibilidade de informações, este parâmetro deve ser sempre calculado com os dados que representam o comportamento dos usuários que são objecto de análise. No entanto, estas duas limitações, (custo de bombeamento e elasticidade-preço da demanda), indispensáveis para a construção das curvas dos benefícios marginais, podem ter influenciado com alguma imprecisão na determinação e interpretação dos benefícios obtidos pelos usuários.

Consciente destas limitações enfrentadas, não se tira a potencialidade científica dos métodos adoptados, pois permitiram a obtenção e avaliação qual-quantitativa dos objectivos propostos para esta pesquisa.

### **6.3 Recomendações**

Tomando como referência os resultados obtidos e limitações enfrentadas nesta pesquisa, recomenda-se às futuras pesquisas similares a este, que desenvolvam trabalhos, talvez na mesma área estudada, testando novos métodos de determinação das curvas dos benefícios marginais, que são decisivas para a determinação do valor da água, e dos benefícios advindos do seu uso. Na parte moçambicana da bacia do Limpopo, estudos mais aprofundados sobre as disponibilidades hídricas reais e garantias de permanência de vazões de fluxo nos dois principais rios afluentes (Limpopo e Elefantes) são necessários para garantir um melhor gerenciamento de outorgas actuais e futuras.

Pelos cenários das projecções de consumo de água, tanto na parte moçambicana, bem como nos países de montante na bacia do Limpopo, os resultados obtidos sugerem recomendar às entidades moçambicanas que gerem a bacia, a operação da barragem de Massingir segundo a regra alternativa testada nesta pesquisa. Por outro, recomenda-se ainda a urgência de negociação de acordos de vazão com os países ribeirinhos, sobretudo com a África do Sul, pelo facto de ser onde nascem os dois rios que são principal fonte de água para o sistema hídrico estudado, para além das elevadas estimativas de necessidades hídricas futuras que este país apresenta. Com os acordos alcançados, é sugestiva a recuperação da

capacidade máxima da barragem de Massingir, e pode ser analisada a possibilidade de um projecto de regularização de vazões ao longo do rio Limpopo que aumentaria a confiabilidade de disponibilidade hídrica, maximizando-se desta feita os benefícios dos principais usuários económicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEDER, Christian. **Grand Challenges for Discrete Event Logistic Systems: Simulation vs. Optimization.** Institute for Business Administration-University of Vienna, 2010. Apostila. Disponível em: <<http://www.dagstuhl.de/Materials/Files/10/10102/10102.AlmederChristian.Slides.pdf>>. Acesso em: 29/12/14.

ANDERSON, Terry L.; SNYDER, Pamela. **Water Markets: Priming the invisible pump.** United States of America: Cato Institute, 1997.

ARA-SUL. **Estações e Dados da bacia do Limpopo.** Administração Regional de Águas do Sul, Maputo, 2014. Base de dados.

AZEVEDO, Luiz Gabriel T.; PORTO, Rubem L.L.; PORTO, Mónica. **Sistema de Apoio a Decisão para o Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade da Água: Metodologia e Estudo de Caso.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos v.3 n.1, 1998.

BALTAR, Alexandre M. et al. Série Água Brasil 2- **Sistemas de Suporte à Decisão para o Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil**, 1ª edição, Brasília- DF, 48p., 2003.

BOGAERT, Sarah et al. (2012). **The role of water pricing and water allocation in agriculture in delivering sustainable water use in Europe.** European Commission, Project number 11589.

BRIGAGÃO, E.N. **Integração de Análise Econômica e Financeira a Sistemas de Apoio a Decisão de Enquadramento, Outorga e Cobrança de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia da Barragem do Descoberto no Distrito Federal.** 2006. 133p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos- Publicação PTARH.DM-101/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 16 de Novembro de 2006.

BRITO, Rui et al. (2006). **Profile of the Limpopo Basin in Mozambique:** a contribution to the Challenge Program on Water and Food Project 17-“Integrated Water Resource Management for Improved Rural Livelihoods: Managing risk, mitigating drought and improving water productivity in the water scarce Limpopo Basin”, Universidade Eduardo Mondlane, CP 257, Maputo, Moçambique.

California Water Plan: **Integrated Water Management, vol.1, update 2009.** Disponível em: <<http://www.waterplan.water.ca.gov/cwpu2009/>>. Acesso em: Julho de 2014.

CARRAMASCHI, Eduardo C.; NETO, Oscar M. Cordeiro; NOGUEIRA, Jorge M. O Preço da Água para Irrigação: Um Estudo Comparativo de dois Métodos de Valoração Econômica-Contingente e Dose-Resposta. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.17, n.3, p.59-81, 2000.

COBA; CONSULTEC, Louis Berger S.A. Massingir Dam and Smallholder Agricultural rehabilitation Project (MDSAR)- **Review, Design and Construction Supervision for Irrigation and drainage Infrastructure:** Estudo Pedológico da região do Baixo Limpopo e possibilidades de desenvolvimento hidroagrícola, Ministry of Public Works and Lodging, National Direction of Water, 2004.

DE OLIVEIRA, R. P. **Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas: Modelos de planeamento e gestão de recursos hídricos**, IST 2008. Apostila. Disponível em: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572081508/GIBH\\_PGRH\\_Aula4.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572081508/GIBH_PGRH_Aula4.pdf). Acesso em: 29/12/14.

DIAZ, Gustavo E.; BROWN, Thomas C. & SVEINSSON, Oli. **AQUARIUS: A Modeling System for River Basin Water Allocation**. 1ª Edição (1996). USDA Forest Service. General Technical Report RM-GTR-299, última revisão- 2005.

DNA. **Monografia hidrográfica da bacia do rio Limpopo**, Relatório nr. 16a/96. Texto. Ministério de Obras Públicas e Habitação, Direcção Nacional de Águas, Maputo, 1996.

DPAG-SPP. **Distritos e Corredores ao longo do Rio Limpopo**: Efectivo de gado bovino que bebe água no rio Limpopo por distrito, Direcção Provincial da Agricultura-Gaza, Serviços Provincias da Pecuária, 2013. Base de dados.

DRUZDZEL, Marek J.; FLYNN, Roger R. **Decision Support Systems**. Decision Systems Laboratory- School of Information Sciences and Intelligent Systems Program, University of Pittsburgh, 2002.

FREDERICKS, Jeffrey W.; LABADIE, John W.; ALTENHOFEN, Jon M. Decision Support System for Conjunctive Stream-Aquifer management. **Journal of water resources planning and management**, 1998.

FAO. Water charging in irrigated agriculture: An analysis of international experience. FAO Water Reports, Rome, 2004.

FAO. **Dia mundial da água**: para cada quilo de carne, são necessários 15 mil litros de água, diz FAO. Disponível em: < <https://www.fao.org.br/DMApcqcn15mladFAO.asp>>. Acesso em: Junho/2014.

FAO-Water resources and use: International Water Issues. Aquastat., Mozambique, 2005. Disponível em: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/MOZ/MOZ-CP\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/MOZ/MOZ-CP_eng.pdf). Acesso: Julho/2014.

FERNANDEZ, José Carreira; GARRIDO, Raimundo José. **Economia dos Recursos Hídricos**. EDUFBA, Salvador, 2002.

FERNANDEZ, José Carreira; FERREIRA, Paulo Moraes. **Optimização dos Recursos hídricos em sistemas de bacias hidrográficas**: O caso da Bacia rio Formoso, na Bahia. Fórum Banco do Nordeste de Desenvolvimento, VII encontro regional de economia da ANPEC, 2006. JEL classification: C60, C61, O12, O13, O21, L95, Q25, Q40

FISHER, Franklin M. **Water Value, Water Management, and Water Conflict: A Systematic Approach**. Cambridge: Water Issues, P.187-190, 2002.

GOMES, Fernanda et al. (1998). **Research Project on Water Demand Management in Southern Africa**. Mozambique Country Study-Case Study: Chókwè Irrigation Scheme, 1<sup>st</sup> Draft, Maputo.

GRIFFIN, Ronald C. **Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity, Policies, and Projects**. London, England, The MIT Press, 2006.



HICEP. Sistema do Regadio Eduardo Mondlane. **Relatório de Apresentação do Regadio de Chókwè**. Versão Provisória V1.0, 2000.

HICEP, EP. **Apresentação do ponto de situação da campanha agrícola 2011/12**. Maio, 2012. PPT. Base de dados.

International Conference on Water and the Environment. **The Dublin Statement on Water and Sustainable Development**, 1992. Disponível em: <<https://www.wmo.int/pages/prog/hwarp/documents/english/icwedece.html>>. Acesso: 05/10/2014.

JOHANSSON, Robert C. et al. **Pricing irrigation water: a review of theory and practice**. Water Policy, ELSEVIER, 2002. Water Policy 4 (2002) 173–199

**Kit de Sensibilização sobre o Rio Limpopo**. Disponível em: <http://www.limpoporak.com/pt/default.aspx>, Acesso: 06/08/13.

LABADIE, John W. **Texas A&M University Hydrologic Modeling Inventory Model Description Form- MODSIM 8.1: River Basin Management-Decision Support System**, 2007.

LABADIE, John W. **MODSIM 8.1: River Basin Management-Decision Support System-User Manual and Documentation**. Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, 2010a.

LABADIE, John W. **MODSIM 8.1: River Basin Management-Decision Support System-Technical Appendices**. Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, 2010b.

LABSID. **Acquanet-Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos, Manual do Usuário**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões, 2002.

LANNA, Antonio Eduardo. Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos. In: PORTO, Rubem L. L. (Org.). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**, 1ª edição, Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 1997, cap. 1, p. 15-41.

LANNA, Antonio Eduardo. **Análise Sistêmica de Recursos Hídricos - Capítulo 1 – Introdução**, HIDP-04. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da UFRGS, 1998. Apostila.

LANNA, Antonio Eduardo. **Economia dos Recursos Hídricos Parte 1**. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da UFRGS/IPH, 2001. Apostila.

LBPTC. Limpopo Basin Permanent Technical Committee. **Joint Limpopo River Basin Study Scoping Phase. Final Report/Main Report**, Ministério de Obras Públicas e Habitação, Direcção Nacional de Águas, 2010.

Limpopo Basin Strategic Plan for Reducing Vulnerability to Floods and Droughts. Draft for Discussion with Riparian Governments. UN-HABITAT/UNEP. July 2007. 23 p.

LOUCKS, Daniel P. et al., (2005). **Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications**. Studies and Reports in Hydrology, UNESCO PUBLISHING.

LOUCKS, Daniel P. **Generic Simulation Models for Facilitating Stakeholder Involvement in Water Resources Planning and Management: A Comparison, Evaluation, and Identification of Future Needs**, Cornell University, Ithaca, NY 14853, 2006.

MACHADO, B. G. F. **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. 145p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM-121/2009-Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 25 de maio de 2009.

MAIA, Alexandre Gori; ROMEIRO, Ademar Ribeiro; REYDON, Bastiaan Philip. **Valoração de recursos ambientais – metodologias e recomendações**. Texto para Discussão. IE/UNICAMP, n. 116, 2004.

MARQUES, Guilherme Fernandes et al. Economically Driven Simulation of Regional Water Systems: Friant-Kern. **Journal of Water Resources Planning and management** © Asce, California, Vol. 132, no. 6, 2006. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:6(468)

MATOS, Manuel António. **Manual Operacional para a Regressão Linear**. FEUP, 1995.

MAYS, Larry W. & TUNG, Yeou-Koung. **Hydrosystems Engineering and Management**. Colorado, United States of America, 2002. ISBN number 1-887201-32-7.

MBURU et al. **Training Manual: Economic Valuation and Environmental Assessment**. Disponível em: <[http://www.zef.de/module/register/media/3465\\_Economic%20Valuation%20and%20Environmental%20Assessment%20\(Training%20Manual\).pdf](http://www.zef.de/module/register/media/3465_Economic%20Valuation%20and%20Environmental%20Assessment%20(Training%20Manual).pdf)>. Acesso em: 27/08/2014.

MOÇAMBIQUE. **Estratégia e Plano de Acção para a Conservação da Diversidade Biológica de Moçambique**, 2003. Disponível em: <[http://www.portaldogoverno.gov.mz/docs\\_gov/estrategia/agricultura/Estrateg\\_plan\\_acciao\\_%20conserv\\_diversidad\\_bio\\_moz%20.pdf](http://www.portaldogoverno.gov.mz/docs_gov/estrategia/agricultura/Estrateg_plan_acciao_%20conserv_diversidad_bio_moz%20.pdf)>. Acesso em: 19/09/2014.

MOÇAMBIQUE. **Estratégia Nacional de Gestão de recursos hídricos**, Agosto de 2007. Disponível em: <[http://www.dnaguas.gov.mz/lib/legislacao/Estrategia\\_Naciona\\_Gestao\\_Recurso\\_Hidricos%20-%20Brochura.pdf](http://www.dnaguas.gov.mz/lib/legislacao/Estrategia_Naciona_Gestao_Recurso_Hidricos%20-%20Brochura.pdf)>. Acesso em: 19/09/2014.

MOÇAMBIQUE. Lei de Águas n.º 16/91, de 3 de Agosto de 1991. **Boletim da República-Imprensa Nacional de Moçambique**. Assembleia da República. Maputo, 3 Ago. 1991.

MOÇAMBIQUE. Resolução- Política Nacional de Águas n.º 7/95, de 8 de Agosto de 1995. **Boletim da República-Imprensa Nacional de Moçambique**. Conselho de Ministros. Maputo, 23 Ago. 1995.

MOÇAMBIQUE. Resolução- Políticas Tarifárias de Águas n.º 60/98, de 23 de Dezembro de 1998. **Boletim da República-Imprensa Nacional de Moçambique**. Conselho de Ministros. Maputo, 29 Dez. 1998.

MOLLE, François & BERKOFF, Jeremy. **Irrigation Water Pricing: The Gap Between Theory and Practice**, London, UK, 2007a.

MOLLE, François & BERKOFF, Jeremy. **Water Pricing in Irrigation: Mapping the Debate in the Light of Experience**, 2007b.

MOTTA, Ronaldo Seroa da. **Manual para Valoração Econômica de Recursos ambientais**. IPEA/MMA/PNUD/CNPq, Rio de Janeiro, 1997.

NOGUEIRA, Jorge Madeira; MEDEIROS, Marcelino António Asano de.; ARRUDA, Flávia Silva Tavares de. Valoração Econômica do meio ambiente: Ciência ou Empiricismo?. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.17, n.2, p.81-115, maio/ago. 2000.

OECD (2009), **Managing Water for All: An OECD Perspective on Pricing and Financing**, OECD, Istanbul.

PEARCE, David W.; TURNER, R. Kerry. **Economics of Natural resources and the environment**. International Monetary Fund Joint Library/International Bank for Reconstruction and Development, Washington D.C.20431, 1990.

PORTO, Rubem L. L., AZEVEDO, Luiz G. T., Sistema de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos. In: PORTO, Rubem L. L. (Org.). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**, 1ª edição, Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 1997, cap. 2, p. 43-95.

PORTO, Rubem L.L. **Acquanet-Alocação de Água em Sistemas Complexos de Recursos Hídricos**. Convênio SABESP-USP. 2002. 21p.Apostila.

PORTO, Rubem L.L. et al. (2003). **Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos**.1-159p.

RBL, EP. **Apresentação do Workshop de Irrigação, Metas e Perspectiva para 2017**. Outubro, 2013. PPT. Base de dados.

ROBERTO, Alexandre Nunes; PORTO,Rubem La Laina. **O Sistema MODSIMs: um Modelo de Rede de Fluxo para simulação de Bacias Hidrográficas**, 2001a. Disponível em:< <http://www.labsid.com.br/publicacoes.php?id=87&tp=7>>. Acesso em: Junho/2014.

ROBERTO, Alexandre Nunes; PORTO,Rubem La Laina. Alocação da Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica: “**Operação de Sistemas de Recursos Hídricos: modelos hidrológicos e ambientais, sistemas de suporte a decisão, Otimização de sistemas, sistemas inteligentes**”, 2001b. Disponível em:< <http://www.labsid.com.br/publicacoes.php?id=87&tp=7>>. Acesso em: Junho/2014.

ROBERTO, Alexandre Nunes. **Modelos de Rede de Fluxo para Alocação da Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica**. (2002). 116f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ROBERTO, Alexandre Nunes et. al. (2007). **O Novo Sistema de Suporte a Decisões acquanet**. Disponível em:< <http://www.labsid.com.br/publicacoes.php?id=87&tp=7>>. Acesso em: Junho/2014.

SCHULTZ, Martin T. **Estimation of Derived Demand for Surface Water on Two Rice Irrigation Districts in the Lower Colorado River Basin, Texas.** The University of Texas at Austin, 1996. Policy Paper No.3.

SVEINSSON, O. G. B. **Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS):Version 2007 -User's Manual.** Department of Civil and Environmental Engineering Colorado State University, Colorado. Technical Report no.11, 2007.

TUCCI, Carlos E.M. **Regionalização de Vazões.** 1<sup>a</sup> edição,Ed. Universidade/UFRGS, 2002.

TUCCI, Carlos E.M. **Modelos hidrológicos.** 2<sup>a</sup> edição. ABRH: Editora da UFRGS, Porto Alegre, 2005.

TURNER, R. Kerry; PEARCE, David W.;BATEMAN Ian. **Environmental economics-An elementary introduction.** The Johns Hopkins, University Press-Baltimore, 1993.

UGBL. **Folha de Cadastro dos utentes de água bruta superficial na parte moçambicana daBacia do rio Limpopo,** 2013. Base de dados.

VAN DER ZAAG, Pieter. **Does the Limpopo River Basin have sufficient water for massive irrigation development in the plains of Mozambique?.** Physics and Chemistry of the Earth, ELSEVIER, 2010. Physics and Chemistry of the Earth 35 (2010) 832–837

VASCONCELLOS, Marco António Sandoval de.; GARCIA, Manuel E. **Fundamentos de Economia.** 3<sup>a</sup> edição, São Paulo: Saraiva, 2008.

WALTER, Teresa; KLOOS, Julia & TSEGAI, Daniel. **Options for improving water use efficiency under worsening scarcity:** Evidence from the Middle Olifants Sub-Basin in South Africa. **Water SA,** South Africa, Vol. 37, no.3, July, 2011. ISSN 1816-7950

WARD, Frank A. Decision support for water policy: a review of economic concepts and tools. **Water Policy 9 (2007) 1–31.** Department of Agricultural Economics and Agricultural Business, New Mexico State University, Las Cruces, 2007. Doi: 10.2166/wp.2006.053

WICHELNS, Dennies. **Agricultural Water Pricing:** United States, Hanover College, 2010. Disponível em:< <http://www.oecd.org/unitedstates/45016437.pdf> >. Acesso em: 15/09/2014.

YOUNG, Robert A. **Measuring Economics Benefits for Water Investments and Polices.** World Bank Technical Paper no WTP. 338, The World Bank Washington, D. C.,1996.





**Apêndice E.** Vazões da série histórica já preenchida da estação E0039, usada como afluente na barragem de Massingir.

Nr/o	Ano	médias mensais preenchidas -E0039											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1971	293,43	106,68	56,53	39,55	34,41	26,43	24,86	24,20	23,77	23,57	25,72	43,82
2	1972	399,59	392,63	149,94	103,13	43,58	32,67	28,46	26,20	25,10	24,38	23,97	23,59
3	1973	23,57	23,57	23,63	23,57	23,57	23,57	24,60	23,57	24,45	24,33	23,84	153,19
4	1974	256,52	226,06	254,85	77,14	48,22	35,43	27,21	27,47	26,03	25,21	26,82	96,65
5	1975	68,63	930,95	302,22	188,61	102,76	53,27	40,23	34,82	30,75	27,11	26,53	29,73
6	1976	95,03	240,36	250,98	285,57	133,57	72,44	50,03	41,39	35,59	35,32	41,51	37,60
7	1977	31,42	624,77	606,97	159,39	91,64	71,46	64,17	59,93	56,66	49,95	52,25	87,78
8	1978	635,72	825,70	498,86	160,63	108,03	83,48	72,72	38,17	60,99	59,56	73,79	70,44
9	1979	60,21	61,89	122,28	60,70	55,31	53,85	53,38	52,68	52,46	51,91	52,83	57,04
10	1980	67,29	69,25	164,85	71,60	59,65	45,83	35,79	26,64	30,92	51,75	31,34	53,93
11	1981	223,04	828,86	229,15	87,45	59,65	49,43	39,52	33,26	36,56	35,48	35,21	45,68
12	1982	40,60	34,84	34,14	32,20	33,10	31,95	31,89	31,21	30,80	28,87	24,42	23,57
13	1983	102,68	330,60	103,03	35,91	33,47	30,77	29,40	28,10	24,92	23,59	25,32	79,36
14	1984	43,84	37,50	51,02	65,08	32,16	27,73	25,13	23,57	23,57	23,57	30,42	93,88
15	1985	161,54	610,19	57,28	35,74	29,36	26,65	26,02	25,15	25,64	297,15	42,80	25,15
16	1986	32,96	25,22	23,57	77,26	46,14	27,53	23,85	30,84	35,03	39,23	31,34	84,50
17	1987	48,93	32,82	23,58	77,26	48,73	37,91	33,54	30,84	31,55	39,23	31,34	53,93
18	1988	127,33	362,20	475,64	47,73	28,04	23,65	33,54	30,84	31,55	39,23	31,34	53,93
19	1989	117,14	226,57	75,37	26,97	48,73	37,91	33,54	30,84	31,55	39,23	31,34	53,93
20	1990	117,14	100,64	55,03	42,89	32,52	25,15	23,59	23,57	31,55	39,23	31,34	53,93
21	1991	117,14	200,27	83,38	71,45	48,73	37,91	33,54	30,84	31,55	39,23	31,34	53,93
22	1992	117,14	198,91	78,95	75,83	48,73	37,91	33,54	30,84	31,55	39,23	31,34	53,93
23	1993	117,14	226,57	141,08	32,57	48,73	37,91	33,54	30,84	31,55	39,23	31,34	53,93
24	1994	79,81	63,50	37,87	28,11	25,55	37,91	33,54	30,84	31,55	39,23	31,34	53,93
25	1995	117,14	226,57	141,08	77,26	48,73	37,91	33,54	30,84	31,55	39,23	31,34	70,34
26	1996	266,85	770,43	252,97	73,16	54,83	41,84	36,41	35,10	31,55	27,91	25,86	26,25
27	1997	45,78	124,95	103,64	146,54	51,21	66,13	42,75	34,39	28,63	23,72	23,57	23,57
28	1998	24,49	37,60	26,39	24,69	23,93	23,57	23,57	23,57	23,57	23,57	23,57	28,21
29	1999	42,44	47,86	35,27	30,51	28,11	26,97	33,54	30,84	31,55	23,57	24,22	32,78
30	2000	53,30	110,34	27,17	77,26	48,73	37,91	33,54	30,84	31,55	39,23	30,84	33,64
31	2001	32,60	52,88	184,75	70,58	41,51	32,67	33,54	26,62	25,49	24,85	32,02	155,42
32	2002	74,35	47,83	30,03	26,06	25,04	24,44	24,42	23,99	31,55	23,72	24,05	23,68
33	2003	25,76	24,31	149,74	33,25	25,20	24,37	24,37	24,04	23,73	5,52	6,87	14,13
34	2004	66,58	241,10	230,35	86,33	19,06	6,13	8,03	4,29	0,60	0,84	6,77	25,81
35	2005	18,13	14,43	8,65	6,03	6,26	4,10	1,77	2,58	2,17	0,23	10,30	11,90
36	2006	151,48	175,36	445,32	210,87	45,65	29,43	19,23	12,71	11,47	10,35	28,83	32,52
37	2007	58,10	18,46	7,13	15,03	3,00	4,93	4,68	12,45	19,03	23,13	99,97	160,61
38	2008	353,71	164,10	140,03	103,00	648,00	4,07	10,13	8,19	8,67	11,35	45,37	30,48
39	2009	113,90	280,93	167,35	20,20	11,52	4,10	8,29	11,00	7,90	9,61	35,23	138,48
40	2010	123,81	146,11	21,87	156,23	90,81	26,33	7,58	1,90	0,50	0,97	22,17	199,32
41	2011	533,19	91,50	42,68	88,43	52,35	19,87	11,42	7,55	3,30	7,65	16,20	19,87
42	2012	990,26	101,17	36,42	23,93	5,55	12,83	3,23	5,74	20,30	18,26	18,77	43,68
43	2013	595,00	52,64	143,77	142,70	36,71	109,40	103,03	111,81	110,97	91,65	0,50	89,16
med. mensal interanual		<b>164,29</b>	<b>221,14</b>	<b>141,74</b>	<b>77,17</b>	<b>58,85</b>	<b>35,02</b>	<b>30,67</b>	<b>28,02</b>	<b>28,83</b>	<b>35,82</b>	<b>30,82</b>	<b>60,40</b>
Qmedlong.		<b>76,06</b>											
Qmin		<b>0,23</b>											
Qmax		<b>990,26</b>											