



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

ESCOLA SUPERIOR DE DESENVOLVIMENTO RURAL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Avaliação da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Pungué para  
Empresa FIPAG na Cidade da Beira**

Licenciatura em Engenharia Rural (Especialização em Água e Saneamento)

**Autora:**

Joaquina da Márcia Jaime Muchico

Vilankulos, Maio de 2014

Joaquina da M. Jaime Muchico

Tema:

**Avaliação da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Pungué para  
Empresa FIPAG na Cidade da Beira**

Relatório de pesquisa aplicada apresentada ao  
Departamento de Engenharia Rural para  
obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Rural

**Supervisor:**

dr. Edgar Faria, MSc

Vilankulos, Maio de 2014

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Declaro que este trabalho é da minha autoria e resultou do meu esforço e dedicação. Sendo esta é a primeira vez que submeto-o para obtenção de um grau académico numa instituição de ensino superior.

Vilankulos, Maio de 2014

---

(Joaquina da Márcia Jaime Muchico)

## DEDICATÓRIA

Aos meus Pais *Segundo Jaime Muchico e Fátima da C. Jaime Muchico*;

Ao meu padrinho *Fortunato* que não se encontra fisicamente no meio de nós, mas no meu coração sempre viverás;

Aos meus irmãos, pelo sacrifício, incentivo e apoio na realização deste trabalho e durante toda caminhada do curso;

Ao meu amado sobrinho *Vovozinho* para que lhe sirva de exemplo na sua vida académica e saibam que para alcançar um determinado objectivo deve ser persistente.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus todo ele Altíssimo, Misericordioso e Onipotente que me consolou durante as minhas tribulações, tais como doença, cansaço e desânimo, dando-me todos os dias um espírito de vencer.

A toda minha família em especial meus amados Pais e Irmãos pois se não fosse por eles não sei se algum dia chegaria onde me encontro, o suporte sentimental, moral e material foram determinantes para a minha formação acadêmica.

À Universidade Eduardo Mondlane, em especial à Escola Superior de Desenvolvimento Rural e a todo corpo docente pela formação profissional no curso de Engenharia Rural (Especialização em Água e Saneamento).

Ao meu Supervisor Edgar Faria, pela atenção, paciência, esclarecimentos e ensinamentos durante a elaboração do Trabalho.

À toda equipe do FIPAG e em especial ao técnico da área operacional de Mutua Jaime Rodrigues, ao chefe dos Recursos Humanos dr. Feliciano, ao técnico da área de captação e bombagem Sr. Joaquim e para os demais funcionários pelo auxílio e conhecimento dado nas longas jornadas de campo durante o período de estágio.

Um agradecimento muito especial ao meu mestre Belarmino e ao meu colega Massingue pela colaboração e participação em ideias ao longo do curso, fazendo com que este sonho se torne uma realidade.

Outro agradecimento especial aos meus verdadeiros amigos de infância Nelinho, Carla e ao meu companheiro dos momentos tristes e alegres “Momate” pelo apoio que tem me concedeu desde o início da minha vida acadêmica.

Aos meus colegas Khan, Muzaia, Fidel, Félix, Rui, Azárias, Mohamed, Arlindo, Ministro, Amilton, Ginévio, Lucrécia, Raimundo e amigas que me levantaram nos péssimos momentos e melhores durante essa etapa da vida dentre elas Dilza, Rosa, Mely e Anilda meninas jamais esquecerei as convivências, experiências e momentos que partilhámos juntas.

*A todos vocês o meu **MUITO OBRIGADO!***

## LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

% – Percentagem

$\alpha$  – nível de significância

$H_0$  – Hipótese nula

Abr – Abril

Açu – Açucareira

Ago – Agosto

An – Analise

ARA – CENTRO – Administração Regional das Águas do Centro

D – Demanda

Dez – Dezembro

DDI – Departamento para o Desenvolvimento Internacional

Disp – Disponibilidade

EGIRH – Estratégia de Gestão Integrada de Recursos Hídricos

Fev– Fevereiro

FIPAG – Fundo do Investimento e Património de Abastecimento de Água

Fut – Futura

Hab – Habitantes

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

Jan – Janeiro

Jun – Junho

km<sup>2</sup> – Quilómetros quadrados

l/cab/d – Litros por cabeça por dia

l/d – Litros por dia

l/hab/d – Litros por habitante por dia

m<sup>3</sup>/d – Metros cúbicos por dia

$m^3/s$  – Metros cúbicos por segundo

Mai – Maio

Mar – Março

mm – Milímetros

Nov – Novembro

NW-SE – Noroeste á Sudeste

Out – Outubro

P – População

Pn – Posto número

Proc – Processamento

$Q_{7,10}$  – Vazão com 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno

$Q_{95}$  – Vazão mínima de permanência

Rev – Revisão

Sel – Seleccção

Set – Setembro

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

## LISTA DE FIGURAS

<a href="#">Figura nº 1: Bacia Hidrográfica</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 2: Modelo da Entrada – Armazenagem – Saída</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 3: Regime Pluvial com Breve Período de Seca</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 4: Regime Pluvial Perene</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 5: Mapa da Bacia do Pungué</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 6: Captação de Água no Rio Pungué para o Abastecimento Público na Cidade da Beira</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 7: Fluxograma</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 8: Mapa de Observação e Monitoramento da Bacia do Pungué</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 9: Curva de Permanência do Posto de Pungué-Sul</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 10: Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2011-2012)</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 11: Sumarização das Demandas Actuais</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 12: Demanda de Água Futura para o FIPAG</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 13: Demanda de Água Futura da Açucareira de Mafambisse</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 14: Demanda de Água Futura Rural</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 15: Sumarização das Demandas Futuras</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<a href="#">Figura nº 16: Relação entre a Demanda Actual e Futura com Disponibilidade Hídrica</a> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice nº 1: Teste de Homogeneidade do Posto Pluviométrico de Nhazónia **Error! Bookmark not defined.**

Apêndice nº 2: Resultados das Variáveis do Teste de Homogeneidade. **Error! Bookmark not defined.**

Apêndice nº 3: Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2007/2008) **Error! Bookmark not defined.**

Apêndice nº 4: Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2008/2009) **Error! Bookmark not defined.**

Apêndice nº 5: Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2009/2010) **Error! Bookmark not defined.**

Apêndice nº 6: Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2010/2011) **Error! Bookmark not defined.**

Apêndice nº 7: Sumarização das Demandas Actuais ..... **Error! Bookmark not defined.**

Apêndice nº 8: Projecção das Demandas Futuras do FIPAG ..... **Error! Bookmark not defined.**

Apêndice nº 9: Projecção da Demanda Futura da Açucareira de Mafambisse **Error! Bookmark not defined.**

Apêndice nº 10: Projecção da Demanda Futura Rural..... **Error! Bookmark not defined.**

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo nº 1: Distribuição da Água por Reservatório..... **Error! Bookmark not defined.**
- Anexo nº 2: Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída do FIPAG no ano 2012 ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Anexo nº 3: Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída do FIPAG no ano 2013 ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Anexo nº 4: Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída da Açucareira de Mafambisse (2012-2013) **Error! Bookmark not defined.**
- Anexo nº 5: Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída na Estação Hidrométrica de Pungue-Sul (E65) **Error! Bookmark not defined.**
- Anexo nº 6: Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída na Estação Hidrométrica de Nhazónia (E72) **Error! Bookmark not defined.**
- Anexo nº 7: Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída na Estação Hidrométrica de Mafambisse (E67) **Error! Bookmark not defined.**
- Anexo nº 8: Curva de Permanência da Estação Hidrométrica de Mafambisse (E67) **Error! Bookmark not defined.**
- Anexo nº 9: Curva de Permanência da Estação Hidrométrica de Nhazónia (E72) **Error! Bookmark not defined.**
- Anexo nº 10: Precipitações Médias (mm) do Posto 1273 ( Nhazónia)... **Error! Bookmark not defined.**

## GLOSSÁRIO

**Aquífero** – é um reservatório subterrâneo de água, caracterizado por camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis, capazes de armazenar e transmitir água em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos.

**Calotas polares** – região de latitudes elevadas de um planeta, centrada na região polar que esta coberta de gela.

**Usos consumptivos** – é quando durante o e retirada uma determinada quantidade dos mananciais e depois de utilizada uma quantidade menor ou com qualidade inferior e devolvida ou seja parte da água retirada e consumida durante seu uso.

## RESUMO

A disponibilidade hídrica é a vazão que pode ser utilizada nas diversas actividades de consumo e desenvolvimento da sociedade, sem que para isto ocorra o comprometimento da demanda ecológica. Portanto esse trabalho tem o principal foco de pesquisa, avaliar a disponibilidade hídrica na bacia do Pungué para o abastecimento público na cidade da Beira, influência sazonal na disponibilidade hídrica e das demandas actuais e futuras referentes aos usuários. Neste contexto para alcançar os objectivos traçados foi seleccionado o método hidrológico (Curva de Permanência) numa série histórica de dados hidrológicos de vazões mensais num período de 6 anos em 3 postos hidrométricos, vazões mensais captadas no FIPAG e dos diferentes usuários da bacia (abeberamento do gado, População rural e Açucareira de Mafambisse), para subsidiar a construção da curva de permanência e o cálculo da disponibilidade hídrica referente a vazões mínima de permanência ( $Q_{95}$ ). Os resultados da pesquisa demonstram que a vazão mínima de permanência da bacia em estudo é de  $2,88 \text{ m}^3/\text{s}$  atendendo suficientemente as demandas actuais ( $2,38 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Portanto também foi verificado uma relação directa entre a precipitação e vazão nas estações de verão e inverno. Quanto a demanda futura dos usuários verificou-se um incremento ( $2,32 \text{ m}^3/\text{s}$ ) segundo as taxas de crescimento das actividades económicas, na qual estará acima da vazão mínima ( $Q_{95}$ ). Neste contexto, no futuro a disponibilidade hídrica da bacia será insuficiente para subsidiar os requerimentos ambientais e para satisfazer as necessidades dos usuários principalmente no que se refere a abstracção de água para o abastecimento público na cidade da Beira.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica, demanda hídrica, vazão mínima.

## INDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA.....	i
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
LISTA DE SIMBOLOS ,ABREVIATURAS E SIGLAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE APÊNDICES.....	vii
LISTA DE ANEXOS.....	viii
GLOSSÁRIO.....	ix
RESUMO.....	x
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problema de estudo.....	2
1.2. Justificativa.....	3
1.3. Objectivos.....	4
1.3.1. Geral.....	4
1.3.2. Específico.....	4
2.1. Bacia hidrográfica.....	5
2.2. Ciclo hidrológico.....	5
2.3. Balanço hídrico.....	6
2.4. Distribuição dos volumes de água na terra.....	6
2.5. Disponibilidade hídrica.....	7
2.6. Demanda de recursos hídricos.....	8

2.6.1. Crescimento das demandas.....	8
2.6.2. Gestão da demanda de água.....	9
2.7. Curva de permanência .....	9
2.7.1. Utilização das curvas de permanência.....	10
2.8. Estudos relacionados com disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas.....	11
III. METODOLOGIA.....	13
3.1. Descrição do local de estudo .....	13
3.2. Clima .....	14
3.3. Infra-estruturas do abastecimento de água .....	15
3.4. Fluxograma.....	16
3.4.1. Descrição do fluxograma.....	16
3.4.2 Cálculo das demandas actuais .....	17
3.4.3. Cálculo das demandas futuras .....	18
3.4.4. Processamento de dados de precipitação.....	20
3.4.5. A disponibilidade hídrica da bacia .....	21
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1. Análise da disponibilidade hídrica usando a curva de permanência .....	23
4.2. Análise da influência sazonal na disponibilidade hídrica.....	24
4.3. Análise das demandas hídricas .....	25
4.3.1. Demandas actuais .....	25
4.3.2. Projeções das demandas futuras .....	26

V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	30
5.1. Conclusões.....	30
5.2. Recomendações .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32
APÊNDICES E ANEXOS.....	35



## I. INTRODUÇÃO

A água constitui um bem essencial para a vida e um factor condicionante para o desenvolvimento económico e social. É um recurso natural e limitado mas renovável que apresenta uma distribuição irregular no tempo e no espaço (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIENCIA E A CULTURA – UNESCO, 2012).

De acordo com TUCCI (2008), disponibilidade hídrica pode ser definida como a vazão que é utilizada nas diversas actividades humanas e desenvolvimento da sociedade, sem que para isto ocorra o comprometimento da demanda ecológica. Sua variação é influenciada por diversos factores dentre eles sociais e climáticos, provocando a escassez deste recurso.

Em relação às condições naturais de disponibilidade hídrica destaca-se o continente Americano, seguido pela Ásia. Estes porém apresentam uma baixa disponibilidade hídrica, devido a grande concentração populacional. A Oceânia, ao contrário das condições acima descritas apresenta uma alta disponibilidade hídrica em função da pequena população. Neste caso, a baixa disponibilidade verificada em África depende da conjugação de factores naturais e populacionais. Por fim, nos países industrializados (Europeus e norte Americanos) a disponibilidade hídrica *per capita* não é um factor limitante, mas sim a escassez hídrica provocada pelas actividades antrópicas, principalmente agrícola e industrial (DEMANDORO *et al.*, 1999).

De acordo com REBOUÇAS (2004), a revolução industrial gerou um grande aumento na produção de vários tipos de bens. Entretanto provocou inúmeras mudanças no estilo de vida das pessoas, as actividades humanas foram cada vez mais diversificadas, conseqüentemente houve um crescimento desordenado da demanda hídrica, influenciando negativamente no que concerne á disponibilidade hídrica.

A bacia do Pungué possui vários usuários, nomeadamente a Açucareira de Mafambisse, abeberamento do gado, o FIPAG e a população que vive nos arredores da bacia. Entretanto a avaliação da disponibilidade hídrica é fundamental para definir se os recursos hídricos disponíveis suportam as demandas actuais desejadas para os usos consumptivos de modo a não comprometer a vazão mínima ( $Q_{95}$ ) e haja maior atendimento futuro em relação ao abastecimento público na cidade da Beira.

### **1.1. Problema de estudo**

Os aspectos que determinam a disponibilidade hídrica verificam-se devido ao crescimento demográfico, escala das actividades económicas, capacidade de suporte dos recursos naturais, bem como a variabilidade e sazonalidade de regimes hidrológicos da bacia.

Segundo a ESTRATÉGIA CONJUNTA DE GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIO PUNGUÉ (EGIRH, 2005), afirmou que a estimativa da demanda para o abastecimento público até o ano 2005 era de 25.339 m<sup>3</sup>/dia.

As actividades económicas tais como, agropecuária, indústria e abstracção de água para o abastecimento público levam o caudal até níveis mais baixos durante as épocas secas. A exploração de água de forma incontrolável afectará a disponibilidade hídrica na bacia, pois as projecções das demandas futuras serão superiores das actuais que consequentemente irão dificultar a alocação da água para o abastecimento público.

De acordo com a CONSULTEC citado por EGIRH (2005), afirma que até o ano 2030 aproximadamente 300.000 pessoas na Cidade da Beira não serão servidas por uma fonte segura de abastecimento de água, cenários que seriam provocados pelas diminuições das quantidades de água disponíveis na bacia para o abastecimento público. Portanto, é necessários que sejam feitos estudos desta natureza para avaliar a disponibilidade hídrica da bacia do Púngue, para que sejam criadas alternativas sustentáveis para empresa FIPAG.

## **1.2. Justificativa**

A água como um recurso finito é dotada de valor social e económico, sendo assim um direito de uso das actuais e futuras gerações, devendo-se por isso garantir a sua preservação em termos qualitativos e quantitativos. Enquanto a disponibilidade de água doce é limitada, a demanda cresce, portanto a pressão sobre os recursos hídricos aumenta.

A disponibilidade hídrica não é estática, tem passado por uma série de variabilidade de reservatórios de água na natureza, ora com ocorrências de água em excesso ou escassez. Os confrontos com as demandas devem ser feitas tendo em consideração os eventos mínimos do rio como forma de assegurar o melhor atendimento das actividades que se verificam ao longo da bacia do Pungué, principalmente no que concerne com a captação da água para o abastecimento público na cidade da Beira. Este trabalho visa solucionar e sistematizar uma distribuição de acordo com as demandas dos usuários tendo em conta as prioridades de usos de água para o abastecimento público da FIPAG na Cidade da Beira.

### **1.3. Objectivos**

#### **1.3.1. Geral**

- ✓ Avaliar a Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Pungué para Empresa FIPAG na Cidade da Beira.

#### **1.3.2. Específico**

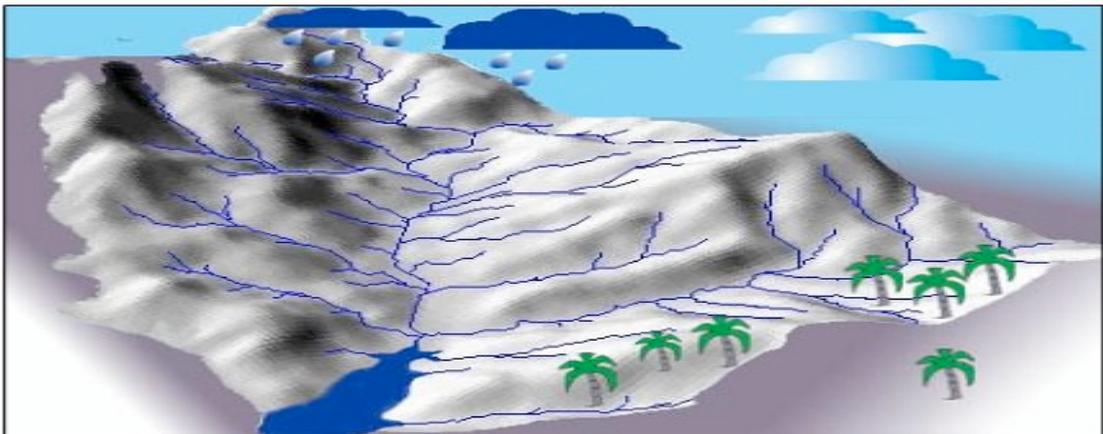
- ✓ Analisar a disponibilidade hídrica usando a curva de permanência ( $Q_{95}$ );
- ✓ Analisar a influência sazonal da disponibilidade hídrica na bacia do rio Pungué;
- ✓ Avaliar a influência da demanda hídrica no caudal do rio Pungué à Empresa FIPAG.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com relação à revisão bibliográfica, inclui-se os principais conceitos relativos a disponibilidade hídrica e as metodologias da sua avaliação, assim como aspectos de investigação de outros autores, explicando de que forma serão relevantes e incorporados no presente trabalho.

### 2.1. Bacia hidrográfica

De acordo com TUNDISI (2003), bacia hidrográfica é uma unidade geofísica bem delimitada drenada por cursos de água, apresentando ciclo hidrológico e as vazões dos efluentes sejam descarregados através de uma única secção (vide na figura nº 1).



**Figura nº 1: Bacia Hidrográfica**

**Fonte:** *BERNANDES, 2007*

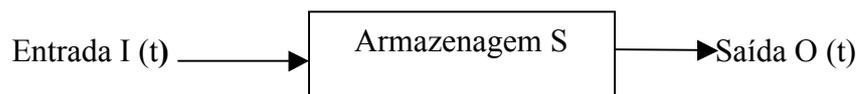
### 2.2. Ciclo hidrológico

O movimento dos diferentes estados da água entre os reservatórios do oceano, atmosfera e continente é chamado ciclo hidrológico, este não tem início nem fim. O ciclo hidrológico envolve os processos físicos da evaporação, transpiração, precipitação, infiltração e escoamento superficial, que representam os diferentes caminhos pelos quais a água circula nas três fases do sistema Terra: hidrosfera, litosfera e atmosfera (TOMASSELLA & ROSSATO, 2005).

Segundo a UNESCO (2012), a água fornece uma contribuição essencial em muitos sectores económicos, ela está na base do funcionamento apropriado dos sistemas ambientais e ecológicos naturais. Porém, a disponibilidade de água ao longo do ciclo hidrológico é influenciada por muitos factores que estão fora do controlo directo das autoridades hídricas. O maneio efectivo e sustentável dos recursos hídricos, bem como a sua destinação, requerem a cooperação e a coordenação entre as diversas partes interessadas. No futuro, os recursos hídricos globais tenderão a sofrer cada vez mais pressão e a demanda pela água estará crescendo, ao mesmo tempo, ameaçando a sua disponibilidade.

### 2.3. Balanço hídrico

Segundo TOMASSELLA & ROSSATO (2005), ao considerar uma certa região geográfica durante um período determinado de tempo, o movimento da água obedece o princípio da conservação da massa traduzido pela equação da continuidade, pelo que o somatório das quantidades de água que entram numa certa porção do solo em um determinado intervalo de tempo tem de ser igual à saída da mesma e é representado pelo componente armazenamento (vide na figura nº 2).



**Figura nº 2: Modelo da Entrada – Armazenagem – Saída**

**Fonte:** ZAAG & SAVENINJE, 2012

### 2.4. Distribuição dos volumes de água na terra

Segundo BRANCO (2006), a distribuição da água é influenciada por vários factores, dentre eles o clima, tipo do solo, a influência antrópica no ciclo hidrológico. Dos volumes armazenados nos principais reservatórios de água mostra que 97,5% do volume total de água da terra formam os oceanos e somente 2,5 % são de água doce. Entretanto 68,9% desta água doce forma as calotas polares e as geleiras, 29,9% constituem as águas subterrâneas, 0,9% são relativa a humidade dos solos e pântanos e apenas 0,3% são relativas aos rios e lagos (vide o anexo nº 1).

## 2.5. Disponibilidade hídrica

Vários autores definem disponibilidade hídrica em diversas formas, mas dentre eles há que destacar os conceitos de CRUZ e TUCCI.

Segundo CRUZ (2001), disponibilidade hídrica é o total da vazão originária de uma bacia hidrográfica, constituída tanto pelo volume de água captado para os usos consumptivos e quanto pelo volume mantido no curso de água para o atendimento da preservação do ambiente.

De acordo com TUCCI (2008), disponibilidade hídrica pode ser definida como a vazão que é utilizada nas diversas actividades humanas e desenvolvimento da sociedade, sem que para isto ocorra o comprometimento da demanda ecológica.

A disponibilidade hídrica é uma das variáveis a ser considerada na actividade de gerenciamento de recursos hídricos. Entretanto sua variação é influenciada pelos usos que provocam o desaparecimento deste recurso, isto é, aumentando ou diminuindo a demanda conseqüentemente irá diminuir ou aumentar a sua quantidade. Portanto, a mesma pode ser determinada a partir do cálculo da quantidade de água que entra (*inputs*) e que sai (*output*) na bacia (ZAAG & SAVENINJE, 2012).

De acordo com CRUZ & SILVEIRA (2007), a disponibilidade hídrica sob aspecto de quantidade é avaliada através da curva de permanência em função da vazão natural média de longo período, vazão máxima correspondente a 50% de probabilidade e vazão mínima correspondente a 95% de probabilidade observadas nos cursos de água da bacia hidrográfica em estudo de forma a admitir intervalos de confiança para determinação da permanência das vazões nos anos secos e húmidos e pode ser avaliada com intuito de suprir uma demanda específica, na implementação de certos projectos ou visando a estabelecer políticas públicas referentes ao uso de água.

Segundo AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA, 2009), vazão mínima ( $Q_{95}$ ) é a vazão originada numa bacia de forma natural, ou através da recarga do aquífero por meio da precipitação, sem haver qualquer interferência humana com os usos consumptivos e as regularizações de água. Esta é obtida pela média das vazões diárias em todo o período da série disponível.

A vazão mínima não pode ser considerada como único parâmetro para representar a disponibilidade hídrica, uma vez que a descarga dos rios depende da sazonalidade e da variabilidade climática. Portanto, os períodos críticos em termos de disponibilidade hídrica devem ser avaliados, a fim de garantir uma margem de segurança às actividades de planeamento e gestão (ANA, 2009).

Segundo TUCCI (2002), os indicadores da vazão mínima mais utilizados no planeamento de projectos de abastecimento de água, irrigação, recuperação ambiental, geração de energia eléctrica e emissão de outorga são a  $Q_{7,10}$  e a  $Q_{95}$ . O primeiro corresponde a vazão com 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno. O segundo é calculado com base na curva de permanência, função hidrológica que fornece a frequência com que um determinado valor é igualado e superado num período, sendo o valor da vazão mínima em função ao tempo de permanência.

## **2.6. Demanda de recursos hídricos**

A estimativa das demandas relativas aos usos consumptivos da água tem por objectivo subsidiar os estudos técnicos que visam manter actualizado o balanço entre a demanda e a disponibilidade dos recursos hídricos na bacia.

De acordo com o DEPARTAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO INTERNACIONAL (DDI, 2003), a demanda de água é definida como o volume de água requerido pelos usuários para satisfazer as suas necessidades, ou o número de pessoas que pode utilizar água se tiver acessibilidade. A demanda representa o *output* ou a quantidade da vazão retirada de uma bacia hidrográfica ou de aquíferos. Salienta-se a existência da demanda natural que é a quantidade de água utilizada pelos organismos vivos, animais e vegetais não domesticados.

### **2.6.1. Crescimento das demandas**

As demandas podem ser afectadas por diferentes factores dentre eles, naturais (influencias climáticas principalmente temperatura e precipitação) e quanto económico (crescimento demográfico, padrões de vida das populações e sistemas de abastecimento). Entretanto se o consumo de água aumentar consequentemente o

recurso hídrico sofrerá uma pressão, daí surge a necessidade de reduzir as abstracções individuais de cada usuário (ZAAG & SAVENINJE, 2012).

Segundo SHIKLOMANOV (1998), a demanda *per capita* urbana mundial varia com o grau de urbanização e a qualidade dos serviços públicos de água. Em muitas cidades do mundo a captação *per capita* é da ordem de 300 a 600 l/d. Nos países agrícolas da Ásia, África e América Latina a captação está em torno de 50 a 20 l/d, podendo alcançar valores entre 10 a 20 l/d em regiões com insuficiência de recursos hídricos.

### **2.6.2. Gestão da demanda de água**

A gestão da demanda de água não é necessariamente diminuir a procura de água porque as necessidades para o seu uso são inúmeras. Pois esta se refere ao aumento do uso eficiente de água através de incentivos técnicos, legais e económicos como ferramenta para uso de recursos escassos, visando atingir padrões de consumo mais desejáveis em quantidades consumidas entre os diferentes sectores que exploram o recurso hídrico (ZAAG & SAVENINJE, 2012).

### **2.7. Curva de permanência**

A curva de permanência relaciona a vazão, ou o comportamento hidrológico de um rio, é a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada, em um período histórico definido (TUCCI, 2004).

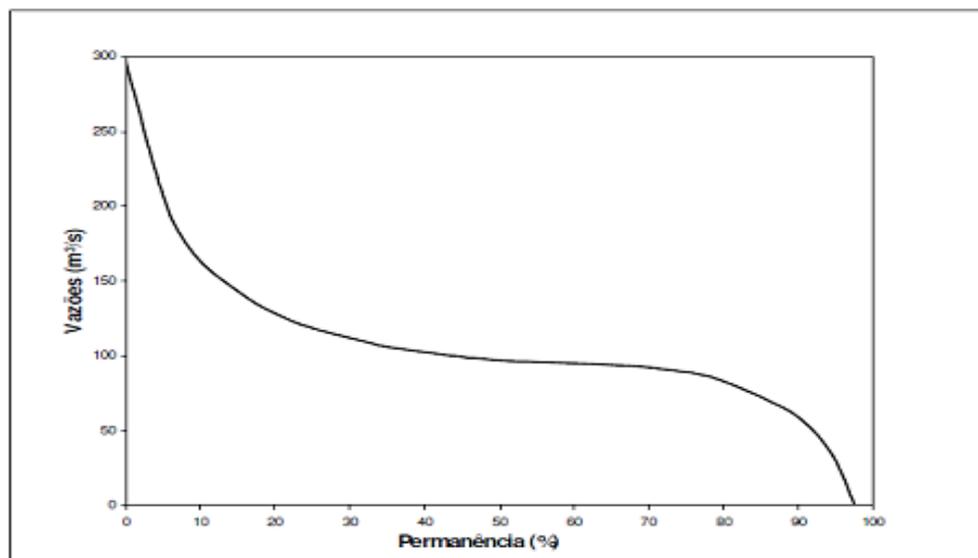
Segundo CRUZ & SILVEIRA (2007), a curva de permanência pode ser estabelecida com base em valores diários, semanais ou mensais. Esta é tratada estatisticamente, admitindo intervalos de confiança para determinação da permanência das vazões nos anos secos e húmidos, podendo ser determinada para cada mês, ano ou período de monitoramento.

De acordo com CRUZ & TUCCI (2008), o hidrograma, a curva de permanência de vazões médias e mínimas, são algumas ferramentas usadas para determinar a disponibilidade hídrica em uma bacia. A metodologia mais empregada é a curva de permanência, que representa a disponibilidade hídrica em função da frequência de ocorrência das vazões.

### 2.7.1. Utilização das curvas de permanência

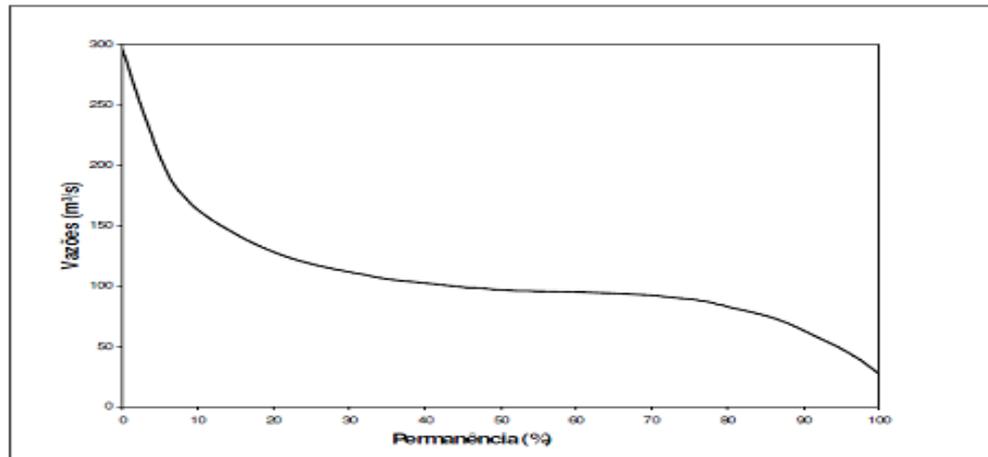
A curva de permanência nos fornece uma visão geral das características de uma bacia hidrográfica, com o objectivo principal de compará-las às outras bacias quanto às análises de viabilidade no uso e controle da disponibilidade hídrica. A presença de grandes declividades nas curvas de permanência denota o fluxo altamente variável, com predominância de escoamento directo, ao contrário das declividades mais planas que ocorrem com o maior fluxo de armazenamento de água na superfície ou no aquífero da bacia, com tendências de manter o equilíbrio nas vazões. Na parte inferior da curva de permanência a declividade nos dá informações quanto às características hidrogeológicas do aquífero da bacia, em relação à sua capacidade de armazenamento (VOGUEL & FENNESSEY, 1995)

De acordo com PINTO (2006), a figura nº 3 demonstra a característica de um curso de água de regime pluvial, com breve período de seca. Esse tipo de rio possui como fontes de alimentação a chuva e afluentes de outros rios, que em determinadas épocas de ano observa-se uma seca parcial. Por outro lado, a figura nº 4 apresenta, com 100% de probabilidades a presença de água devido ao seu regime pluvial perene. Neste caso, devido a sua constituição geológica o seu fluxo mantém sempre a água em seu movimento durante todas as estações, não permitindo situações de seca.



**Figura nº 3: Regime Pluvial com Breve Período de Seca**

Fonte: *PINTO, 2006*



**Figura nº 4: Regime Pluvial Perene**

Fonte: *PINTO, 2006*

## **2.8. Estudos relacionados com disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas**

Neste trabalho foram destacados vários estudos similares ligados a disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas com destaque para os seguintes:

Segundo BERNANDES (2007), em seu estudo intitulado “A Disponibilidade de Água e Uso de Solo sob a Perspectiva da Educação Ambiental”, usando evolução histórica (1976 á 2004) do uso do solo e da distribuição anual das chuvas. Conclui que o uso do solo na área em estudo destacou-se por diversas actividades económicas, havendo maior pressão dos usuários sobre o recurso hídrico, provocando baixa disponibilidade hídrica para o abastecimento público.

De acordo com BRANCO (2006), em seu estudo intitulado “Avaliação da Disponibilidade Hídrica: Conceitos e Aplicabilidades” analisou a contribuição da conscientização da necessidade da preservação dos recursos hídricos, partindo de dados do crescimento demográfico e a demanda hídrica, tendo concluído que, nos países com melhor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) apresentam alto nível de exploração dos recursos hídricos, verificando-se um crescimento elevado das demandas e efectivamente existe maior problema de disponibilidade hídrica destacando-se em algumas regiões do Brasil. Segundo o autor, recomenda que haja

implementação de planos directores de recursos hídricos para melhor quantificar as demandas requeridas.

Um estudo feito na bacia das Pedras intitulado “Vazão Ecológica e Disponibilidade Hídrica”, no qual usou-se a curva de permanência, com dados de serie histórica (1985 á 2009) de vazões mensais do rio das Pedras, para análise do potencial do rio através das vazões de permanência 90% e 95% correspondentes a vazão ecológica. O autor conclui que, as actividades económicas e o crescimento urbano contribuem para o aumento das demandas de água na bacia. Entretanto, o mesmo recomendou que a exploração de água tinha que ser limitada como forma de garantir e conservar os níveis mínimos especialmente nos períodos de seca com objectivo de assegurar as prioridades ecológicas (VESTENA *et al.*, 2012).

No rio Pinharas-açu destacou-se um estudo intitulado “Avaliação da Disponibilidade Hídrica e da Demanda Hídrica ” no qual o autor analisou as condições reais da oferta de água no trecho do rio através do modelo hidrológico (Curva de Permanência) com a série de dados históricos de vazões mensais num período de 50 anos. No qual, conclui que as demandas actuais e futuras de água captada seriam elevadas para garantir o atendimento das actividades sócio económicas realizadas ao longo da bacia. Entretanto a disponibilidade hídrica do rio seria insuficiente para suprir com as demandas na época de estiagem, notando-se uma pressão sobre o recurso hídrico (MOURA *et al.*, 2011).

Este trabalho de pesquisa faz menção a Avaliação da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Pungué para Empresa FIPAG na Cidade da Beira, através da vazão mínima estimada pela curva de permanência, influência sazonal e cálculo das demandas actuais e futuras da bacia.

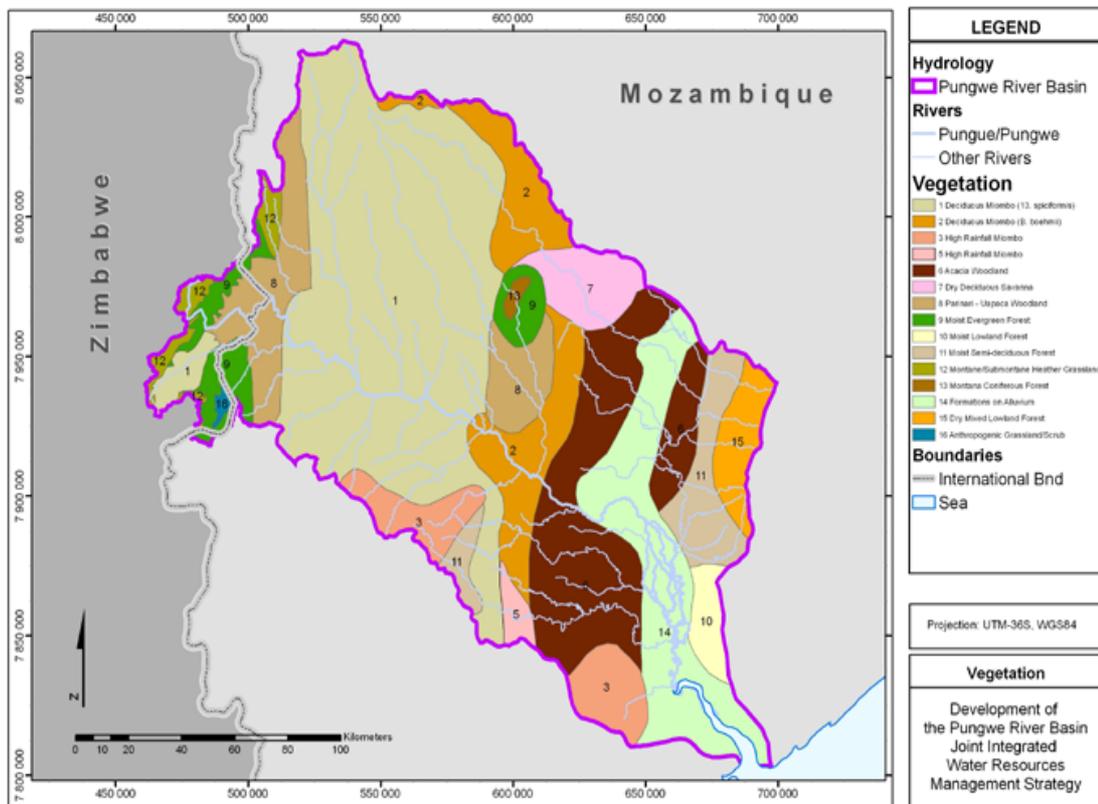
### **III.METODOLOGIA**

Nesta secção será apresentado um fluxograma com as principais relações entre os dados, procedimentos e ferramentas utilizadas para a colecta de dados na área de estudo. Em seguida é apresentada uma breve descrição do local da área de estudo, cálculo das demandas actuais e futuras dos usuários e o cálculo da disponibilidade hídrica da bacia.

#### **3.1. Descrição do local de estudo**

A bacia hidrográfica do rio Pungué foi seleccionada como área de estudo a fim de Avaliar a Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Pungué para Empresa FIPAG na Cidade da Beira. Na escolha da área de estudo foram considerados factores como a escala das actividades económicas, capacidade de suporte dos recursos naturais, bem como a variabilidade e sazonalidade de regimes hidrológicos.

De acordo com EGIRH (2005), o rio Pungué nasce nas terras altas do leste de Zimbabwe e corre para leste em direcção ao oceano indico, desaguando na cidade da Beira. O rio tem 400 km<sup>2</sup> de comprimento e corre numa área total de 31151 km<sup>2</sup> dos quais 1461 km<sup>2</sup> (4.7%) em território zimbabueano e 29690 km<sup>2</sup> (95.3%) em território moçambicano. A forma da sua bacia é um losango com a orientação do eixo maior NW-SE, tem vários afluentes da nascente para a foz dos quais Honde, Nhazonia, Txatora, Vanduzi, Urema e Muda (vide figura nº 5).



**Figura nº 5: Mapa da Bacia do Pungué**

**Fonte:** EGIRH, 2005

A flora que se destaca nas costas adjacente ao estuário do rio Pungué é as árvores de mangal e de caniçais que requerem de grande quantidade de água nas suas partes baixas para o seu desenvolvimento. Na área do estuário do rio Pungué são desenvolvidas várias actividades económicas, sendo estas agropecuária, actividade de mineração de ouro, Açucareira de Mafambisse e captação de água para o abastecimento público na cidade da Beira (EGIRH, 2004).

### 3.2. Clima

De acordo com EGIRH (2004), a bacia do rio Pungué estende-se através de dois tipos de clima. Ao oeste, onde as montanhas altas formam fronteira entre Zimbabwe e Moçambique, o clima é húmido de montanha. Nesta região a média anual de precipitação pode ser superior a 2000 mm e a temperatura é consideravelmente inferior em comparação com a área circundante não montanhosa.

A média anual da precipitação diminuiu para aproximadamente 1000 mm ou menos. As precipitações ocorrem em todos os meses do ano com maior intensificação nos períodos de Novembro à Abril e quase nenhuma precipitação ocorre de Maio à Outubro. Na região mais a Este, perto da Beira o clima é classificado de tropical e húmido com uma variação de temperatura de 22° em Julho a 29° em Janeiro. Pois, os valores da precipitação variam muito de ano para ano e durante um ano muito seco as precipitações quase que não dão picos de escoamento nos rios devido à alta temperatura e à alta evaporação (EGIRH, 2005).

### **3.3. Infra-estruturas do abastecimento de água**

A cidade da Beira é abastecida por um sistema de abastecimento de água moderno. O ponto de captação no rio Pungué localiza-se a cerca de 75 km a montante da foz do rio (figura nº 6). Desde o ano 1999 o sistema é operado sob contrato de gestão da empresa de Aguas de Moçambique e em 2008 passou a pertencer o Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água, abastece toda a população da Beira, através de ligações domésticas e fontenários públicos (EGIRH, 2004).

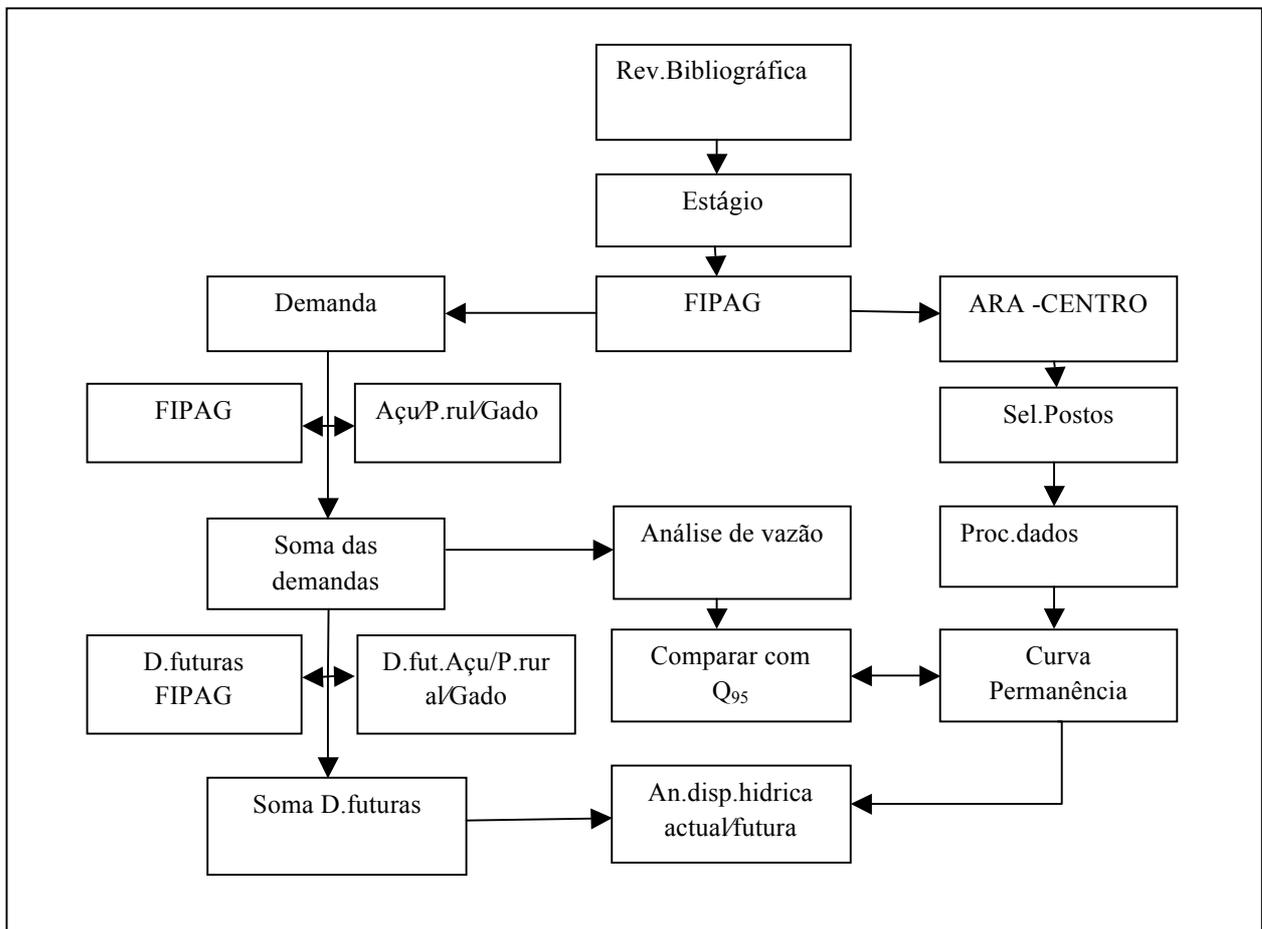


**Figura nº 6: Captação de Água no Rio Pungué para o Abastecimento Público na Cidade da Beira**

**Fonte: EGIRH, 2004**

Para atingir os objectivos deste trabalho foi adoptada uma linha metodológica que consistiu num estágio profissional na empresa FIPAG, uma revisão bibliográfica como forma de fazer uma contextualização geral sobre dados relevantes relacionados com o tema, levantamento de dados relativos a precipitação, vazão observada do rio e vazão extraída pelas actividades económicas na área de estudo. Neste contexto, o fluxograma (figura nº 7) mostra de forma resumida todas fases das actividades metodológicas do tema em estudo.

### 3.4. Fluxograma



**Figura nº 7: Fluxograma**

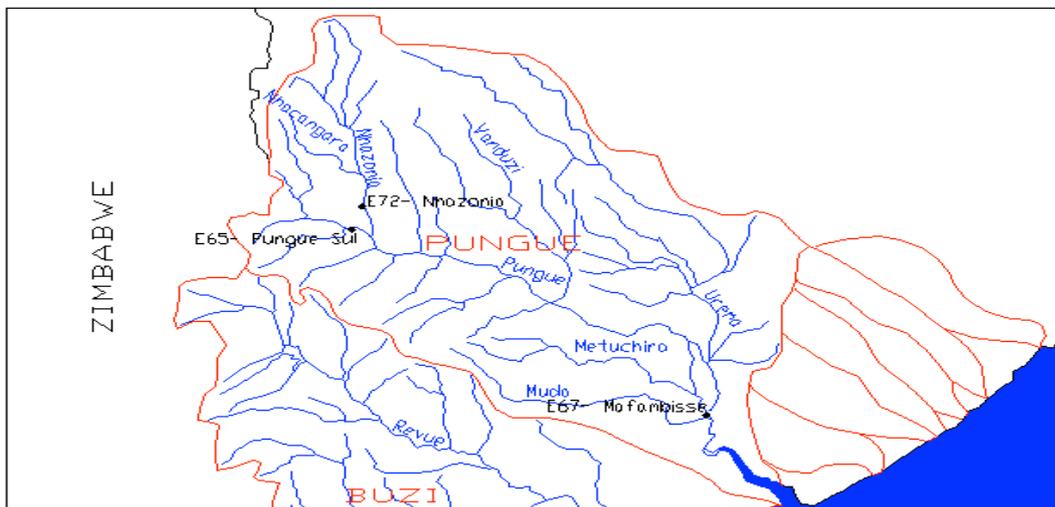
**Fonte:** *Autora, 2014*

#### 3.4.1. Descrição do fluxograma

Para descrever o Fluxograma toma-se como ponto de partida a revisão bibliográfica onde foram abordados conceitos relativos a disponibilidade hídrica e as metodologias da sua avaliação, bem como aspectos de investigação de outros autores. Em seguida o

estágio profissional à FIPAG, no qual foi feita a colecta de dados das vazões captadas mais significativas da série histórica (2012-2013) extraído pela empresa no rio Pungué.

Na ARA-CENTRO também foram extraídos, dados hidrométricos do rio referentes a três estações mais significativas (figura nº 8) nomeadamente: Pungué-Sul (E65), Nhazónia (E72) e Mafambisse (E67) e dados pluviométricos das mesmas estações mencionadas com série histórica (2007-2012), por fim dados de vazão de algumas actividades económicas: criação de gado bovino (estimado com base no consumo *per capita*) e açucareira de Mafambisse (2012-2013).



**Figura nº 8: Mapa de Observação e Monitoramento da Bacia do Pungué**

**Fonte:** ARA- CENTRO, 2012

### 3.4.2. Cálculo das demandas actuais

Para o cálculo das demandas das empresas FIPAG e Açucareira de Mafambisse, foram estimadas com base na vazão extraída no rio pelas empresas (Anexo nº 2, 3 e 4). Ao passo que, as demandas para o abeberamento do gado bovino foi considerado o número total estimando-se em 95611 cabeças ao longo da bacia e foi utilizada a equação nº 1 (RODRIGUEZ, 2004). Pois de acordo com DDI (2003), as necessidades *per capita* para a espécie foram consideradas 40 L/cab/d.

$$Q_{aa} = \frac{P_{aa} * q_{aa}}{86400 * 1000} \quad (1)$$

**Onde:**

$Q_{aa}$  - é a demanda para abastecimento animal ( $m^3/s$ );

$P_{aa}$  - é o número de cabeça para cada espécie animal;

$q_{aa}$  - consumo *per capita* para cada espécie animal (l/cab/d).

De acordo com o INSTITUTO NACIONAL DE ESTATISTICA (2007), afirmou que o número total da população que vive aos arredores da bacia era cerca de 1081 habitantes e a taxa de crescimento anual é de 3%. Entretanto para estimar a demanda da população rural considerou-se a projecção da população (1291 habitantes) para o ano 2013 ao longo da bacia e o consumo *per capita* de tendo em conta a equação nº 2 (AZEVEDO NETO, 1998).

$$Q_m = \frac{P * q}{86400 * 1000} \quad (2)$$

**Onde:**

$Q_m$  - é a demanda de água para o uso doméstico ( $m^3/s$ );

$P$  - é o número da população (hab);

$q$  - é o consumo *per capita* (l/hab/d).

De acordo com o DDI (2003), os intervalos de consumo médio de cada indivíduo, foram considerados 20 l/hab/d, em função do nível do serviço proposto ou seja o tipo de acessibilidade com utilização da água na bacia.

### 3.4.3. Cálculo das demandas futuras

Com o intuito de avaliar as demandas para a população rural e o efeito da dinâmica na variação populacional no tempo e no espaço, fez-se uma estimativa do crescimento populacional num período de 15 anos, onde utilizou-se o modelo geométrico (equação nº 3). Este pressupõe que a população de uma determinada região cresça segundo uma projecção geométrica, e que seguirá a mesma tendência nos anos subsequentes (CÂMARA, 2003).

$$P_F = P_0 * (1 + Tx)^N \quad (3)$$

**Onde:**

$P_F$  - População projectada final (hab);

$P_0$  - População inicial (hab);

$Tx$  - Taxa de crescimento geométrico anual (%);

$N$  - Número de amostras a projectar (ano).

A projecção das demandas relativa a população rural, foi considerada a (equação n° 2) e para o cálculo das estimativas da população rural futura (equação n° 3) e com base no consumo *per capita* de acordo com DDI (2003) para uso doméstico futuro (50 l/hab/d) foi calculada a demanda futura.

De acordo com o FIPAG (2013), afirma que a empresa possui cerca de 58380 clientes e a taxa de crescimento anual é de 8%. Entretanto a demanda futura desta empresa foi estimada usando a regra de três simples tendo em conta o caudal extraído, o número de cliente e a taxa de crescimento dos clientes.

Segundo ARA-CENTRO (2013), revela que Açucareira de Mafambisse possui uma área de produção cerca de 11130 há e a taxa de crescimento anual da área de produção é de 6%. Pois estes dados foram considerados para estimar a projecção das demandas futuras da empresa.

Segundo PAGOT (1993), afirma que a reprodução do gado bovino tem um período de gestação de 261 a 293 dias e o seu intervalo de parto é de 15 a 17 meses e a produção do gado muita das vezes é destinada ao abate e a comercialização. Entretanto a taxa de crescimento é considerada variável, para este estudo a demanda para abeberamento é insignificante.

#### **3.4.4. Processamento de dados de precipitação**

Com intuito de validar os dados de precipitação nos três postos pluviométricos (Pungué-Sul, Nhazónia e Mafambisse), na bacia do Pungué foi usado o teste não paramétrico de Homogeneidade usando as seguintes equações abaixo (NAGHETTINI & PINTO, 2007)

$$V_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} - R_1 \quad (4)$$

$$V_2 = N_1 N_2 - V_1 \quad (5)$$

$$E[V] = \frac{N_1 N_2}{2} \quad (6)$$

$$Var[V] = \frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12} \quad (7)$$

$$V = MINIMO(V_1, V_2) \quad (8)$$

$$H = \frac{V - E[V]}{\sqrt{Var[V]}} \quad (9)$$

Procedimento do Teste:

Hipótese  $H_0$ :  $V = E[V]$

Rejeita-se a hipótese nula ( $H_0$ ) se  $H > Z_{1-\alpha/2}$

**Onde:**

V- Teste de Mann Whitney;

$N_1$  e  $N_2$  - Sob amostras;

$R_1$  - Soma de ordem de classificação dos elementos da primeira sub-amostra;

$E[V]$  - Média da distribuição normal;

$Var[V]$  - Variância;

$Z_{1-\alpha/2}$  - Distribuição normal.

### 3.4.5. A disponibilidade hídrica da bacia

Para análise da disponibilidade hídrica da bacia baseou-se na elaboração de três curvas curva de permanência obtido pelos dados históricos da série (2007-2012) e para extracção da vazão  $Q_{95}$  foi adquirida através da média entre as três curvas, considerando como vazão mínima (95 % de permanência). Para a construção da mesma foram consideradas os seguintes passos:

- ✓ Dados históricos de vazões médias mensais (vide no anexo nº 5, 6 e 7) adquiridos em três postos de estação dos quais: Pungué-Sul (E65), Nhazónia (E72) e Mafambisse (E67).
- ✓ As probabilidades foram calculadas pela equação nº 10 e, ordenadas numa coluna de 1 a 100%, em seguida as frequências calculadas segundo a equação nº 11, e depois foram obtidas as vazões de permanência de cada posto hidrométrico, com auxílio ao programa estatístico EXCEL.

$$P(Q > Q_i) = \frac{i}{N + 1} \quad (10)$$

$$F = 1 - P \quad (11)$$

**Onde:**

Q- Vazões observadas;

$i$  - Número de ordem;

N -Número da série das vazões observadas;

F- Frequência ou percentis das vazões observados;

P- Probabilidade ou as garantias das vazões observadas.

- ✓ No final foram plotadas as curvas de permanências com base na coluna das probabilidades (eixo das abcissas) e das vazões calculadas (eixo das ordenadas).

Foi usado o método da curva de permanência porque fornece uma visão geral das características hidrológicas de uma bacia, quanto a análise de viabilidade no uso e controle das disponibilidades hídricas.

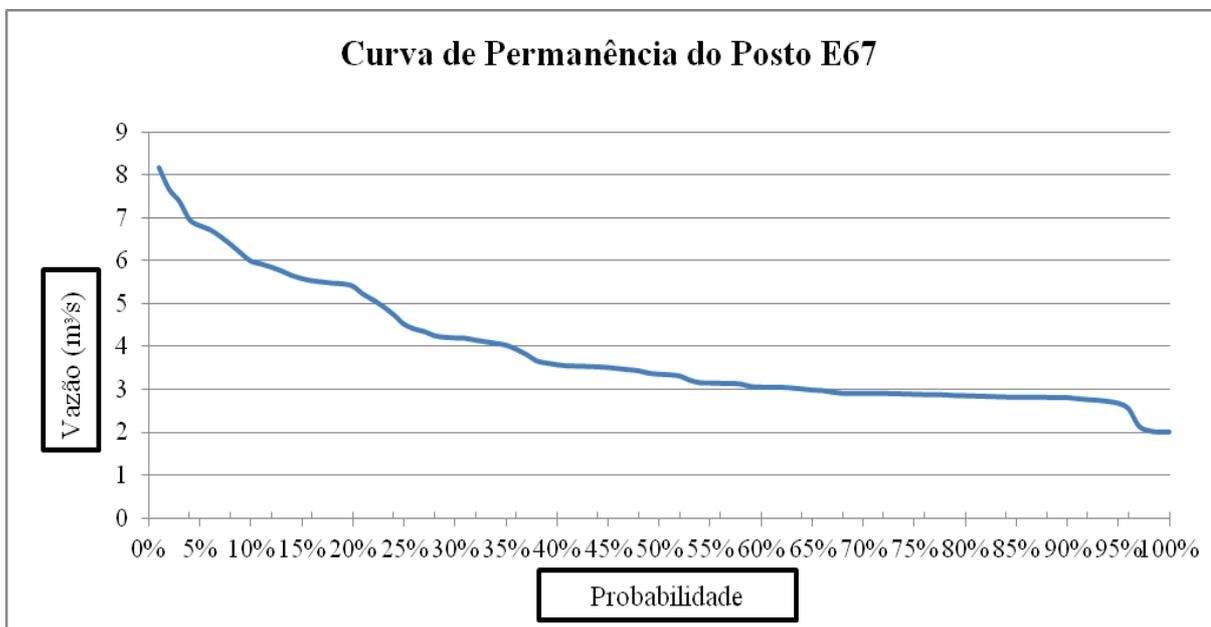
## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise da disponibilidade hídrica usando a curva de permanência

Após todas as análises empreendidas neste trabalho, cujo objectivo primordial é de avaliar a disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Pungué, obteve-se séries de dados históricos de três estações hidrométricas.

As vazões de permanência de 95% de garantia foram de 2,68, 2,67 e 3,3 m<sup>3</sup>/s nas estações hidrométricas de Mafambisse, Nhazónia (vide em anexo nº 8 e 9) e Pungué-sul (Figura nº 9) correspondendo a uma média de vazão mínima de 2,88 m<sup>3</sup>/s. Esta vazão é a estimativa da disponibilidade hídrica do rio, contudo demandas acima deste valor poderão criar escassez de água aos usuários desta bacia.

A Figura nº 9 representa a curva de permanência mensal da estação hidrométrica Pungué-Sul, que permite visualizar a potencialidade natural do rio apresentando o grau de permanência ou garantias de vazão na estação.



**Figura nº 9: Curva de Permanência do Posto de Pungué - Sul**

**Fonte:** ARA-CENTRO, 2013

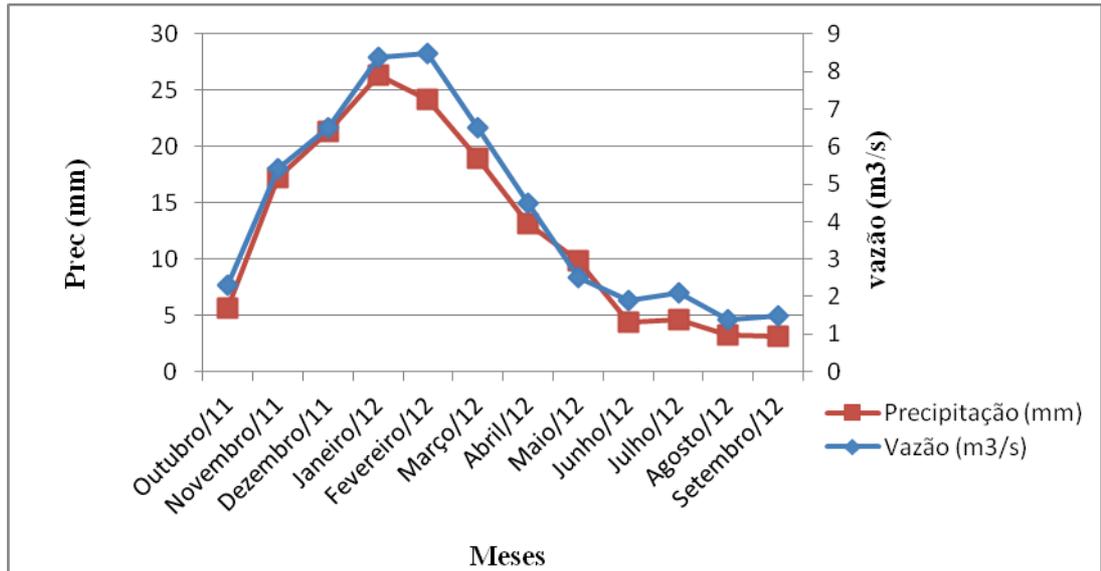
**Elaborado:** Autora, 2014

#### **4.2. Análise da influência sazonal na disponibilidade hídrica**

De acordo com os teste feitos nas três postos pluviométricos foi seleccionada a estação pluviométrica de Nhazónia como representativa a nível da bacia por apresentar uma homogeneidade ao longo da serie histórica (vide em apêndice nº 1 e 2).

Na figura nº 10 refere-se às médias das vazões e as médias pluviométricas mensais do período 2011 a 2012 (vide as séries histórica em anexo nº 6 e 10) no Posto de Nhazónia. Constatou-se que o comportamento das médias pluviométricas evidenciam o período chuvoso e de estiagem, pois as maiores médias ocorreram nos meses de Novembro á Abril com 20,2 mm e as menores médias ocorreram nos meses de Junho á Setembro com 3,8 mm, tendo se sucedido o mesmo com as vazões com uma média de 6,6 m<sup>3</sup>/s no período chuvoso e 1,7 m<sup>3</sup>/s no período de estiagem. Para análise das outras séries histórica no mesmo posto também foi verificada uma relação directa entre a precipitação e vazão (vide os apêndices 3-6).

Neste contesto verifica-se que no período chuvoso há maior disponibilidade hídrica pois maiores precipitações são directamente proporcionais a maiores vazões, ocorrendo o mesmo no período de estiagem, isto é, há menor disponibilidade hídrica em função das baixas precipitações. Entretanto, esta variação do regime de chuvas influenciou directamente no caudal do rio, provocando um abaixamento dos níveis hidrométricos, e consequente insuficiência de água na bacia.



**Figura nº 10: Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2011-2012)**

**Fonte:** ARA-CENTRO, 2013

**Elaborado:** Autora, 2014

Porém, importa realçar que mesmo com o comportamento dos níveis hidrométricos baixos devido a escassez de precipitação e os diferentes usuários que se verificam na bacia, ela apresenta, com 100% de garantias da presença de água devido ao seu regime pluvial perene (vide a figura nº 9). Isso deve-se a sua constituição geológica, na qual o seu fluxo mantém-se sempre com água em seu movimento durante todas as estações, não permitindo situações de seca.

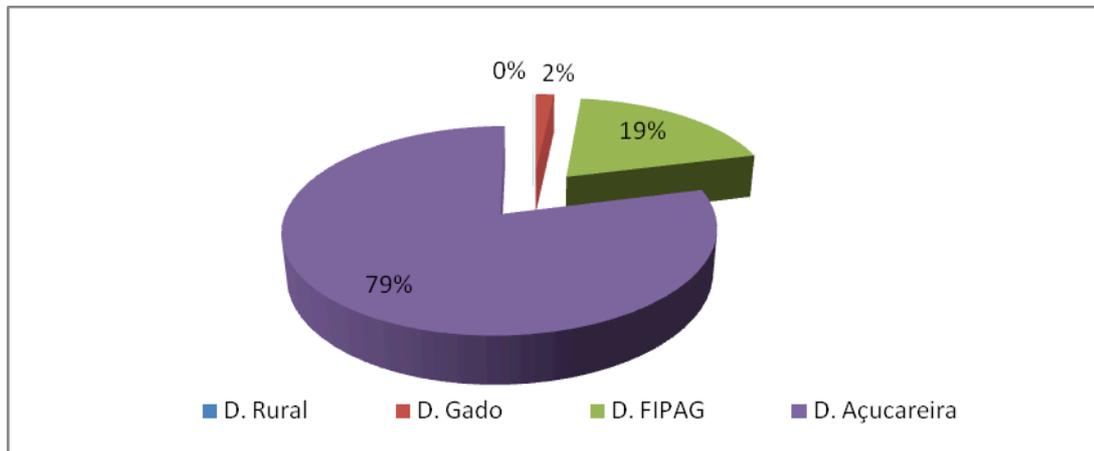
### 4.3. Análise das demandas hídricas

#### 4.3.1. Demandas actuais

Os resultados obtidos são referentes as demandas actuais dos diferentes usuários que exploram a bacia conforme pode-se ver no apêndice nº 7. A demanda para uso industrial em média foi de  $1,88\text{m}^3/\text{s}$  (79 %), seguida pela FIPAG com uma média de  $0,46\text{m}^3/\text{s}$  (19 %), o gado com  $0,04\text{m}^3/\text{s}$  (2%), e a população rural com  $0,0007\text{m}^3/\text{s}$  (0,03%), sumando um total de  $2,38\text{m}^3/\text{s}$  (vide figura nº 11).

Entretanto é de salientar que a disponibilidade hídrica da bacia é  $2,88\text{m}^3/\text{s}$ , neste contexto mostram que o total das demandas actuais dos usuários não irão afectar a

vazão mínima extraída pelas curvas de permanências ( $Q_{95}$ ), isto é existe disponibilidade suficiente do recurso hídrico para o abastecimento público e atendimento de outras necessidades de cada usuário.

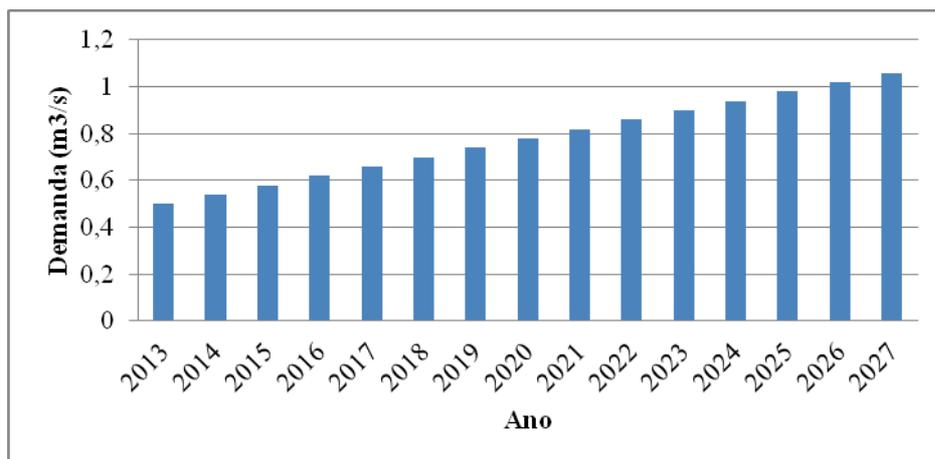


**Figura nº 11: Sumarização das Demandas Actuais**

Fonte: *Autora, 2014*

#### 4.3.2. Projeções das demandas futuras

De acordo com as estimativas feitas, foram calculadas as demandas futuras e obtidos os seguintes resultados (figura nº 12, apêndice nº 8), ilustra a quantidade de água demanda pelo FIPAG a partir do caudal captado e a projecção dos clientes.



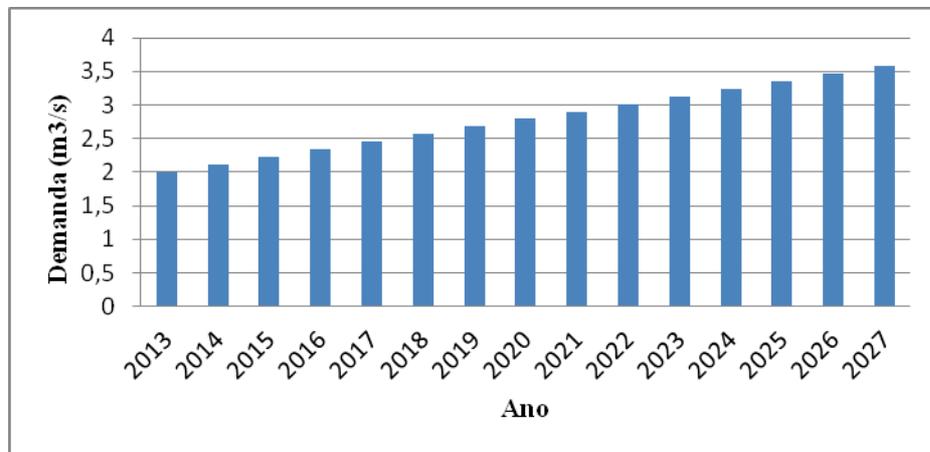
**Figura nº 12: Demanda de Água Futura para o FIPAG**

Fonte: *FIPAG, 2013*

Elaborado: *Autora, 2014*

A demanda futura para o FIPAG é estimada em cerca de  $1,06 \text{ m}^3/\text{s}$  correspondente a uma percentagem de 22.01%, a figura nº 12 demonstra que as demandas aumentam linearmente em função do número de clientes projectados para o ano 2027.

A figura nº 13 ilustra a quantidade de água demandada pela Açucareira de Mafambisse a partir do caudal captado e a projecção da área irrigada para o ano 2027. Entretanto a demanda é estimada em cerca de  $3,58 \text{ m}^3/\text{s}$  correspondente a 76,9% (vide em apêndice nº 9).

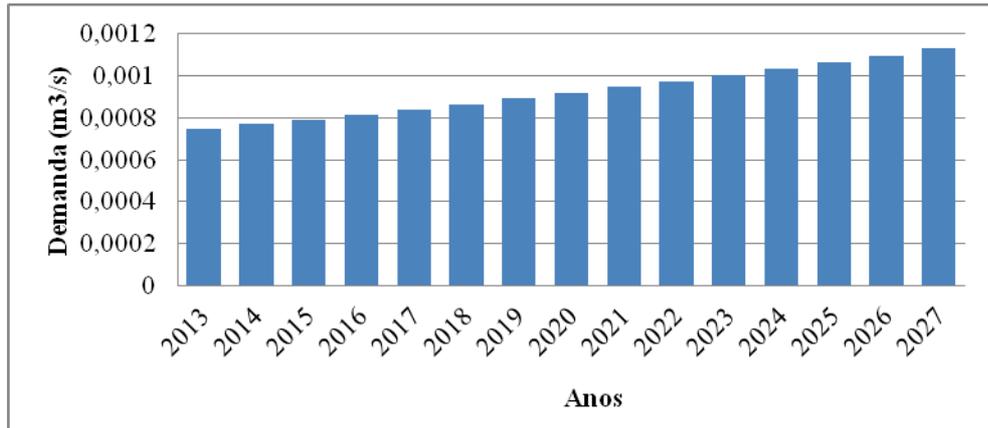


**Figura nº 13: Demanda de Água Futura da Açucareira de Mafambisse**

**Fonte:** ARA-CENTRO, 2013

**Elaborado:** Autora, 2014

A demanda total futura de água para o consumo doméstico na bacia estima-se que tenha um consumo médio de  $0,0011 \text{ m}^3/\text{s}$  conforme como pode-se ver no apêndice nº 10, correspondente a 0,02%. A figura nº 14 demonstra que através do incremento da taxa de crescimento anual da população de 3% (INE, 2007), a demanda também terá um aumento linear ao do crescimento da população.

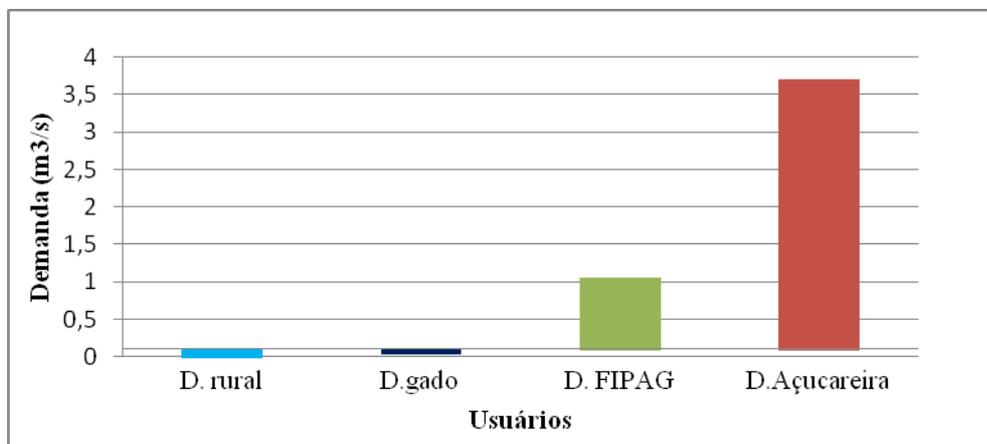


**Figura nº 14: Demanda de Água Futura Rural**

**Fonte:** INE, 2007

**Elaborado:** Autora, 2014

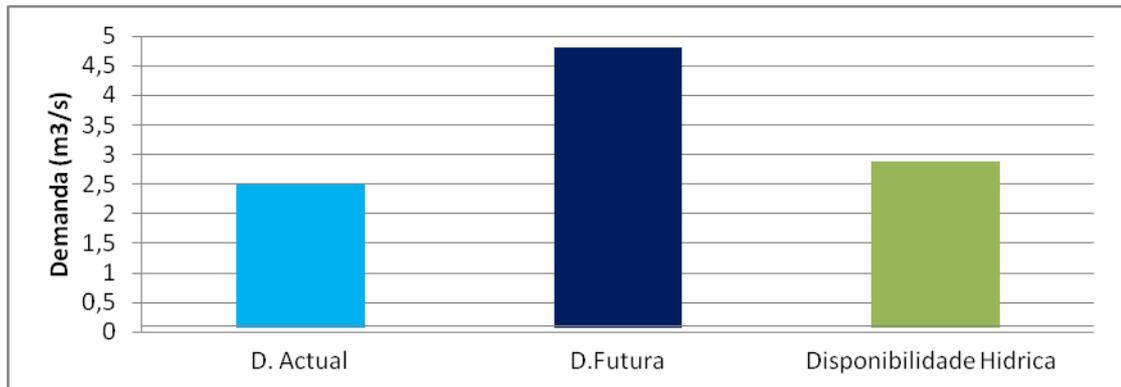
De acordo com a figura nº 15, a Açucareira de Mafambisse consome cerca de 3,58 m<sup>3</sup>/s, os restantes 0,04 m<sup>3</sup>/s, 0,001m<sup>3</sup>/s e 1,06 m<sup>3</sup>/s, pertencentes aos usos animais, doméstico e abstracção de água para abastecimento público (FIPAG).



**Figura nº 15: Sumarização das Demandas Futuras**

**Fonte:** Autora, 2014

Conforme é evidenciado na figura nº 16 pode-se notar que a disponibilidade hídrica da bacia ainda é suficiente para satisfazer as demandas actuais dos usuários, mas o total das demandas futuras é equivalente à 4,7 m<sup>3</sup>/s, pois está acima da disponibilidade hídrica da bacia.



**Figura nº 16: Relação entre a Demanda Actual e Futura com Disponibilidade Hídrica**

**Fonte:** *Autora, 2014*

Contudo verifica-se que num horizonte de 15 anos as demandas de água aumentarão significativamente, provocando uma alteração negativa entorno do comportamento do rio, e conseqüentemente haverá uma maior pressão sobre a  $Q_{95}$  levando este para regime de escassez. Entretanto presume-se que a disponibilidade hídrica da bacia será insuficiente para atender as diversas necessidades dos usuários principalmente no que concerne com o abastecimento público na cidade da Beira.

## V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. Conclusões

Com base nos dados de campo e análises feitas através da curva de permanência, o valor médio estimado da disponibilidade hídrica da bacia do Pungué é de  $2,88 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este é considerado como a vazão mínima do rio para fins de atendimento de todas actividades socioeconómicas sem comprometer a vazão ecológica do rio.

A variação sazonal influencia directamente nos níveis hidrométricos do rio, pois para todos postos fluviométrico em estudo foi verificado uma relação directa entre a chuva e vazão apesar da bacia hidrográfica do rio Pungué ser do regime Perene.

A demanda actual de água do FIPAG é estimada em  $0,46 \text{ m}^3/\text{s}$ , seguida pelo consumo industrial de  $1,88 \text{ m}^3/\text{s}$ , a população rural com  $0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$  e para o gado com  $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$  convergindo para um total de  $2,38 \text{ m}^3/\text{s}$ . As demandas actuais ( $2,38 \text{ m}^3/\text{s}$ ) não afectam a vazão mínima ( $Q_{95}$ ) pois a disponibilidade hídrica da bacia ( $2,88 \text{ m}^3/\text{s}$ ) é suficiente para suprir com as demandas dos usuários. Entretanto com base nas taxas de crescimento das actividades económicas as demandas futuras demonstram aumento estimado em  $2,32 \text{ m}^3/\text{s}$ . Com base nesse incremento de consumo, a disponibilidade hídrica da bacia no rio Pungué não será suficiente para suprir com as demandas, afectando directamente o abastecimento público na cidade da Beira.

## **5.2. Recomendações**

Considerando as observações e análises feitas ao longo da bacia, apresentam-se a seguir algumas recomendações visando abordar aspectos complementares da pesquisa, sendo:

- ✓ Aplicação de outro tipo de modelo para calcular a disponibilidade hídrica da bacia, mesmo com existência de escassez de dados;
- ✓ Considerar as prioridades ecológicas, havendo uma limitação para exploração de água uma vez que a vazão ecológica deve conservar os níveis mínimos de fluxo de base especialmente nos períodos de secas;
- ✓ Um estudo relativo ao valor da vazão ecológica da bacia do Pungué;
- ✓ Providenciar melhores alternativas sobre a alocação de água a diferentes níveis sectoriais como forma de minimizar os conflitos decorrentes das demandas hídricas na bacia;
- ✓ Aberturas de futuros para alternativas de abstracção no futuro;
- ✓ Regularização de vazões para o abastecimento Público na cidade da Beira, detalhando as alternativas necessárias para suprir com as demandas futuras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DE ÁGUA DO CENTRO (ARA-CENTRO, 2013). Relatório das Actividades Desenvolvidas para o Monitoramento da Bacia do Pungué. Beira.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA, 2009). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília.

AZEVEDO NETO, J.M. (1998). Manual de Hidráulica. São Paulo.

BERNANDES, M.B.J. (2007). A Disponibilidade de Água e Solo sob a Perspectiva da Educação Ambiental (Tese de Doutorado). Uberlândia.

BRANCO, O. E. (2006). Avaliação da Disponibilidade Hídrica: Conceitos e Aplicabilidades. Brasil.

CAMARA, A. C. F. C. (2003). Análise de Vazão Máxima Outorgavel e da Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo Outorga na Bacia do rio Gramame. Porto alegre.

CRUZ, J.C. & SILVEIRA, G. L.(2007). Disponibilidade Hídrica para Outorga. Brasil.

CRUZ, R. C. (2001). Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais. Porto Alegre.

DEMANDORO, A.C. *et al.*, (1999). A Escala Demográfica no Planeta e a Demanda por Recursos Hídricos. Porto Alegre.

DEPARTAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO INTERNACIONAL (DDI, 2003). Handbook for the Assessment of Catchment Water Demand and use Project n° R7135.

ESTRATÉGIA CONJUNTA DE GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PUNGUÉ (EGIRH, 2005). Cenário de Desenvolvimento da Bacia do Rio Pungué. Moçambique.

ESTRATÉGIA CONJUNTA DE GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PUNGUÉ. (EGIRH, 2004). Relatório Principal da Bacia do Pungué. Moçambique.

FUNDO DE INVESTIMENTO E PATRIMONIO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. (FIPAG, 2013). Base de Dados. Beira.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. (INE, 2007). Sinopse dos Resultados Definidos do III Recenseamento Geral da População da Província de Sofala. Moçambique.

NAGHETTINI, M. & PINTO, E. J.A. (2007). Hidrologia Estatística. Belo Horizonte

MOURA, E. M. *et al.*, (2011). Avaliação da Disponibilidade Hídrica e Demanda Hídrica no Trecho do Rio Pinharas-Açu, Brasil.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIENCIA E A CULTURA. (UNESCO, 2012). Maneio dos Recursos Hídricos em Condições de Incertezas e Riscos. Brasil.

PAGOT, J. (1993). Sistemas de Produção de Animais. Brasil

PINTO, J. A.O. (2006). Avaliação de Métodos de Regionalização de Permanência de vazões para a Bacia do Rio das Velhas (Tese de Doutorado). Porto Alegre

REBOUÇAS, A C. (2004). Uso Inteligente da Água. São Paulo

RODRIGUES, A. C. L (2004). Metodologia para Estimativa das Demandas e Disponibilidades Hídricas: Estudo de Caso da Bacia do Paracatu. Viçosa

SHIKLOMANOV, I. (1998). World Water Resources. A new Appraisal and Assessment for the 21st Century. Paris

TOMASELLA, J. & ROSSATO, L. (2005). Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas. São José dos Campos.

TUCCI, C.E.M. (2002). Regionalizações de vazões. Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M. (2004). Manual de Fundamentos. Versão Preliminar Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Rio Grande do Sul.

TUCCI, C. E. M. (2008). Estimativa da Disponibilidade Hídrica através da Curva de Permanência. Brasil.

TUNDISI, J. G. (2003). Água no século XXI: Enfrentando a Escassez. São Carlos

VESTENA, L. R. *et al.*, (2012). Vazão Ecológica e Disponibilidade Hídrica na Bacia das Pedras, Guarapuava-PR. Ambi-Agua, Taubaté. Brasil.

VOGEL, R. M. & FENNESSEY, N. M. (1995). Flow Duration Curves: Review of Applications in Water Resources planning.vol. 31.

ZAAG, V.P. & SAVENINJE, H.G. (2012). Principio da Gestão Integrada de Recursos Hídricos. Delft

# APÊNDICES E ANEXOS

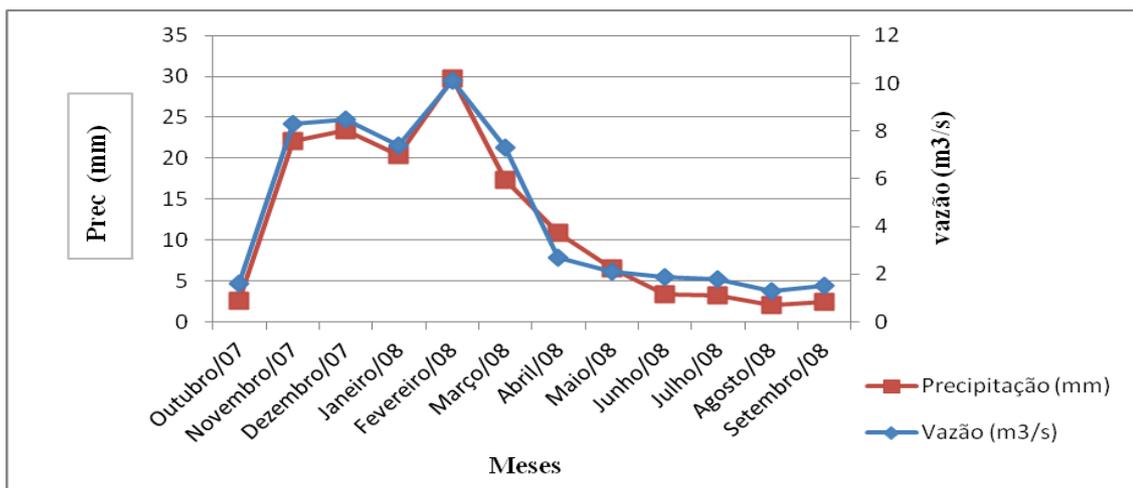
**Apêndice nº 1: Teste de Homogeneidade do Posto Pluviométrico de Nhazónia**

Dados Originais		Dados Ordenados		Semi-série	
Ano	X	X Cresc	N	X	Ordem
2007	154.1	133.1	1	154.1	3
2008	133.1	133.7	2	133.1	1
2009	192	154.1	3	192	6
2010	160.4	160.4	4		
2011	172.8	172.8	5		
2012	133.7	192	6		

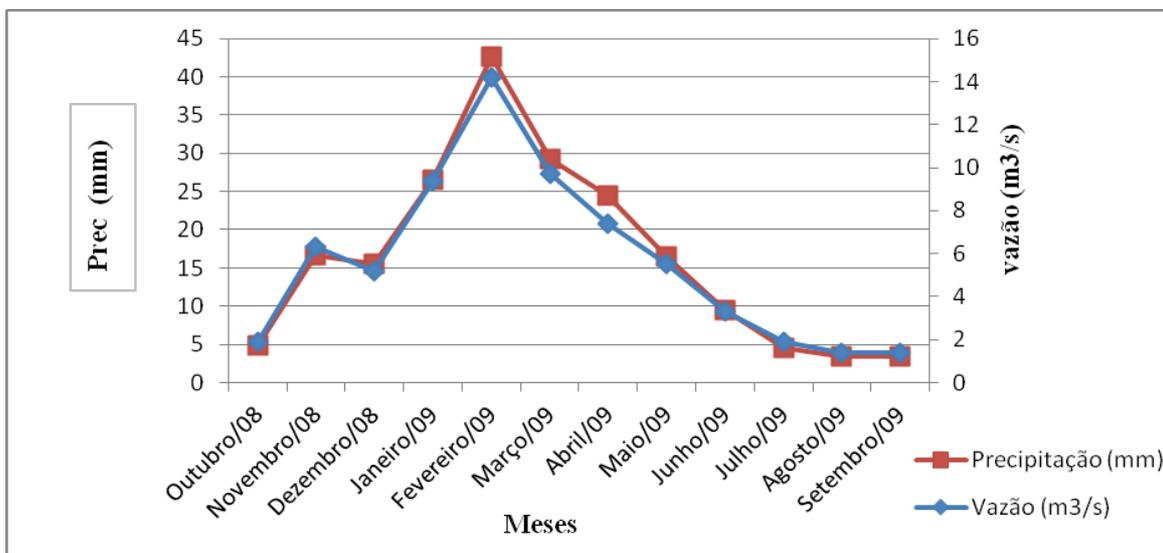
**Apêndice nº 2: Resultados das Variáveis do Teste de Homogeneidade**

N	N1	N2	R1	V	V1	V2	E[V]	Var[V]	Z (1- $\alpha$ /2)	H
6	3	3	10	4	5	4	4,5	5.25	1.96	0.22

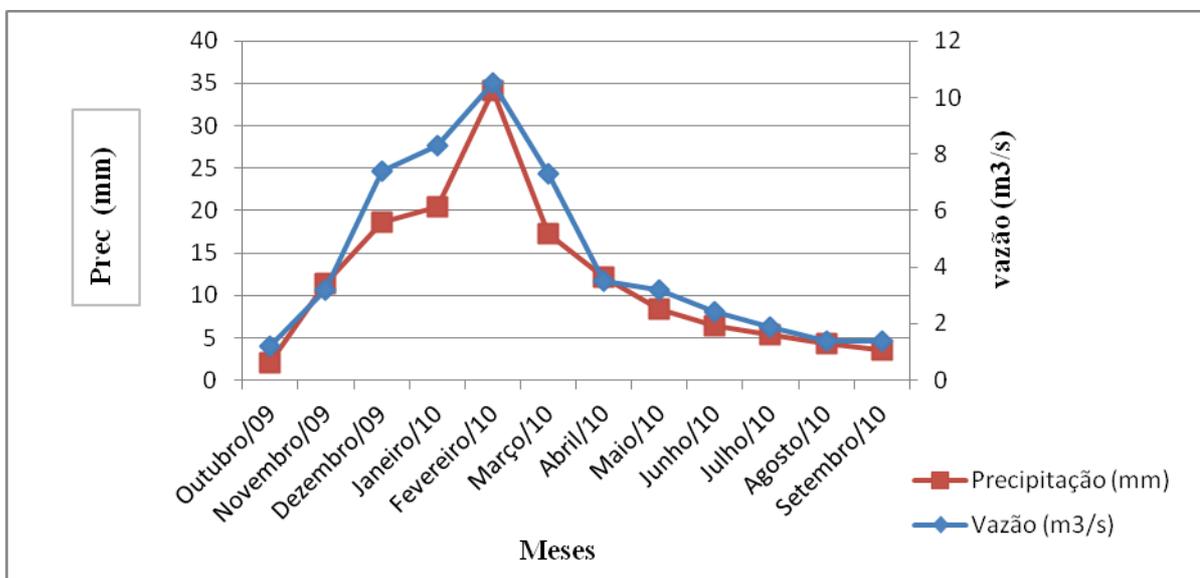
**Apêndice nº 3: Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2007/2008)**



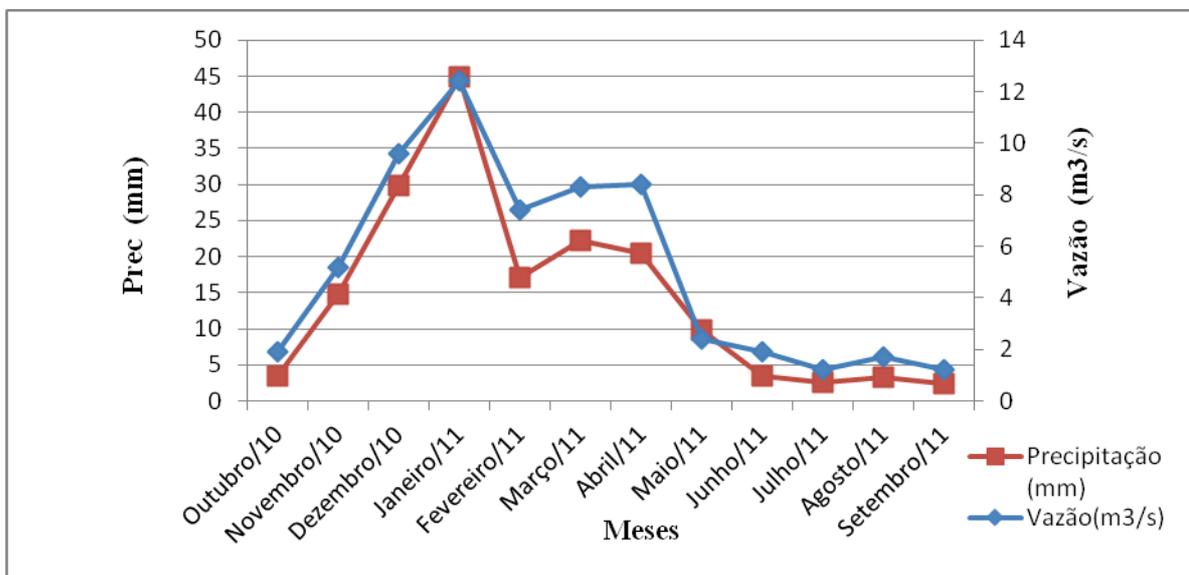
**Apêndice nº 4: Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2008/2009)**



**Apêndice nº 5: Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2009/2010)**



**Apêndice nº 6:** Representação Gráfica da Precipitação e Vazão do Posto de Nhazónia (2010/2011)



**Apêndice nº 7:** Sumarização das Demandas Actuais

Usuários	Demanda (m³/s)	Percentagem (%)
D. Rural	0.0007	0.03
D.Gado	0.044	1.68
D. FIPAG	0.46	19.32
D.Açucareira	1.88	79
<b>Total</b>	<b>2.38</b>	<b>100</b>

**Apêndice nº 8: Projecção das Demandas Futuras do FIPAG**

<b>Ano</b>	<b>Projecção dos Clientes</b>	<b>Demanda (m<sup>3</sup>/s)</b>
2013	<b>58380</b>	<b>0.5</b>
2014	<b>63050</b>	<b>0.54</b>
2015	<b>67720</b>	<b>0.58</b>
2016	<b>72391</b>	<b>0.62</b>
2017	<b>77061</b>	<b>0.66</b>
2018	<b>81732</b>	<b>0.7</b>
2019	<b>86402</b>	<b>0.74</b>
2020	<b>91072</b>	<b>0.78</b>
2021	<b>95743</b>	<b>0.82</b>
2022	<b>100413</b>	<b>0.86</b>
2023	<b>105084</b>	<b>0.9</b>
2024	<b>109754</b>	<b>0.94</b>
2025	<b>114424</b>	<b>0.98</b>
2026	<b>119095</b>	<b>1.02</b>
2027	<b>123765</b>	<b>1.06</b>

**Apêndice nº 9:** Projecção da Demanda Futura da Açucareira de Mafambisse

<b>Ano</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Demanda (m<sup>3</sup>/s)</b>
2013	11130	1.88
2014	11760	2.11
2015	12390	2.22
2016	13020	2.33
2017	13650	2.45
2018	14280	2.56
2019	14910	2.67
2020	15540	2.79
2021	16170	2.90
2022	16800	3.01
2023	17430	3.13
2024	18060	3.24
2025	18690	3.35
2026	19320	3.46
2027	19950	3.58

**Apêndice nº 10: Projecção da Demanda Futura Rural**

---

<b>Ano</b>	<b>Projecção da população</b>	<b>Demanda(m<sup>3</sup>/s)</b>
2013	1290.77	0.00074
2014	1329.49	0.00076
2015	1369.37	0.00079
2016	1410.46	0.00081
2017	1452.77	0.00084
2018	1496.35	0.00086
2019	1541.24	0.00089
2020	1587.48	0.00091
2021	1635.10	0.00094
2022	1684.16	0.00097
2023	1734.68	0.00100
2024	1786.72	0.00103
2025	1840.33	0.00106
2026	1895.54	0.00109
2027	1952.40	0.00113
2026	1895.54	0.00109
2027	1952.40	0.00113

---

**Anexo nº 1:** Distribuição da Água por Reservatório.

Reservatórios	Volumes (milhões de km <sup>3</sup> )	Percentual (%)
Oceanos	1.350,00	97,57
Água doce	33,61	2,43
Geleiras polares	25,00	74,38
Água subterrânea	8,40	24,99
Lagos e rios	0,20	0,60
Atmosfera	0,01	0,03

**Fonte:** *BRANCO, 2006*

**Anexo nº 2:** Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída do FIPAG no ano 2012

**Fonte:** *FIPAG, 2013*

**Anexo nº 3:** Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída do FIPAG no ano 2013

**Fonte:** *FIPAG, 2013*

**Anexo nº 4:** Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída da Açucareira de Mafambisse (2012-2013)

Meses	Ano	
	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Jan	1.76	0.94
Fev	2.79	0.45
Mar	0.26	3.10
Abr	3.24	2.47
Mai	3.19	1.77
Jun	0.27	0.43
Jul	3.20	2.77
Ago	1.39	0.18
Set	1.48	3.08
Out	1.37	2.51
Nov	2.79	2.58
Dez	2.97	0.26
Total	24.72	20.54

**Fonte:** *ARA-CENTRO, 2013*

**Anexo nº 5:** Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída na Estação Hidrométrica de Pungue-Sul (E65)

**Fonte:** *ARA-CENTRO, 2013*

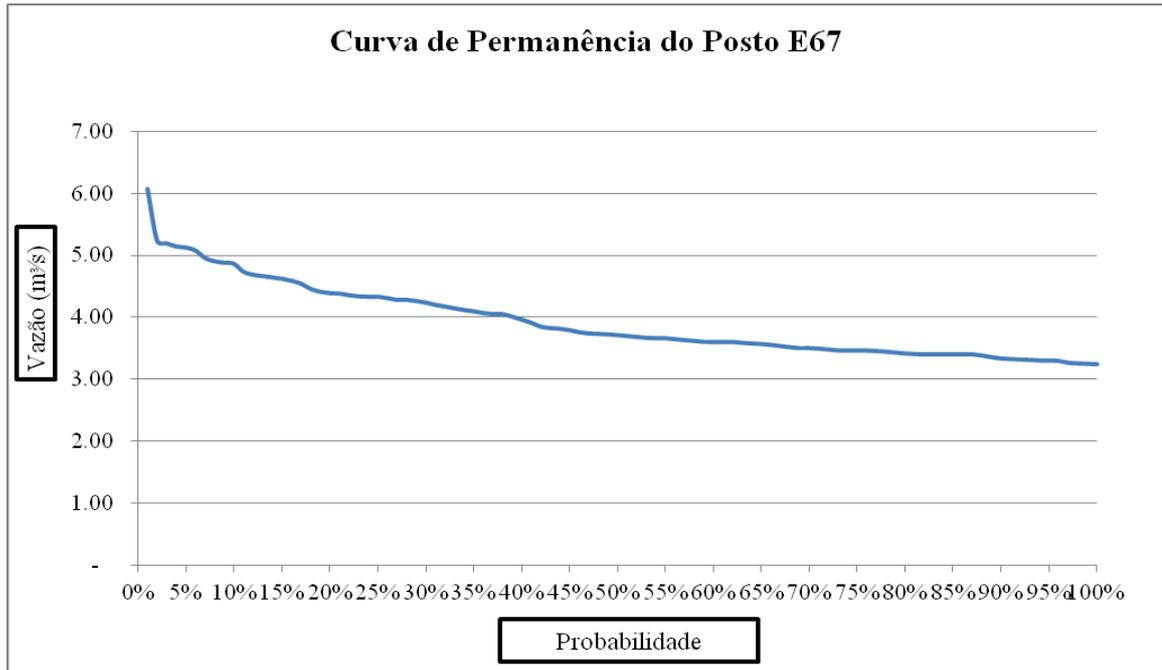
**Anexo nº 6:** Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída na Estação Hidrométrica de Nhazónia (E72)

**Fonte:** *ARA-CENTRO, 2013*

**Anexo nº 7:** Vazão (m<sup>3</sup>/s) Extraída na Estação Hidrométrica de Mafambisse (E67)

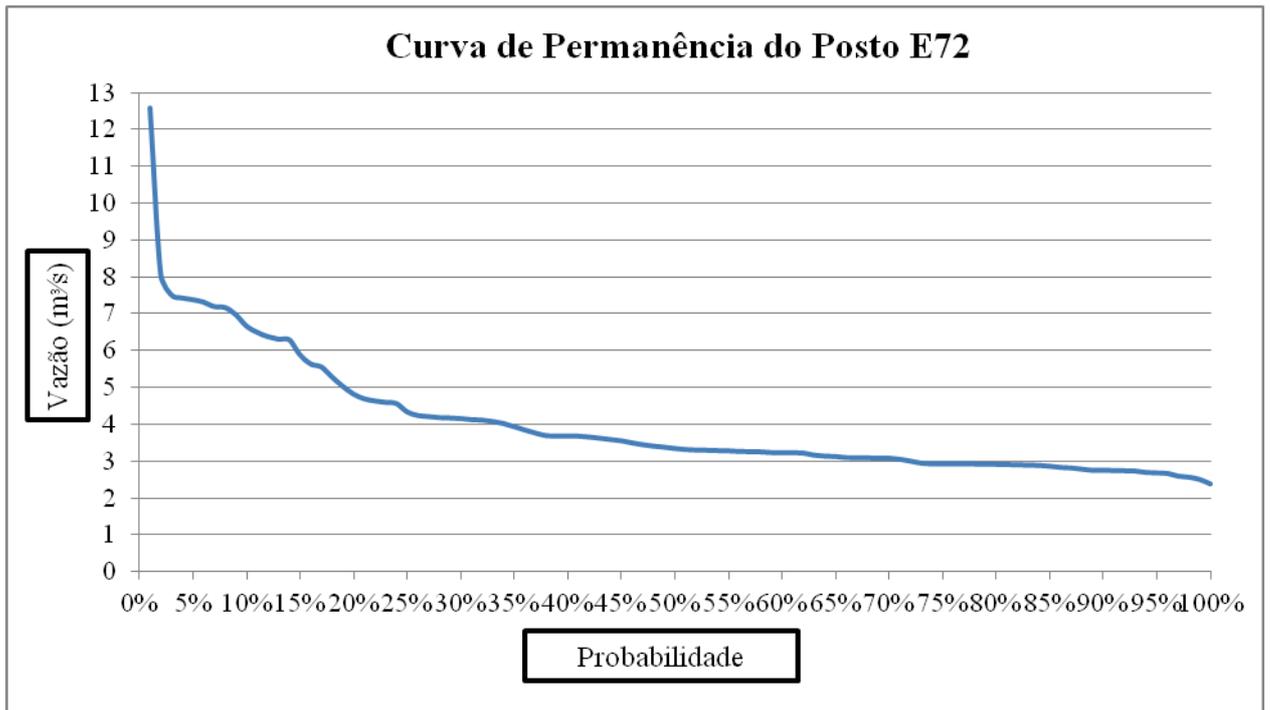
**Fonte:** *ARA-CENTRO, 2013*

**Anexo nº 8:** Curva de Permanência da Estação Hidrométrica de Mafambisse (E67)



**Fonte:** *ARA-CENTRO, 2013*

**Elaborado:** *Autora, 2014*



**Fonte:** *ARA-CENTRO, 2013*

**Elaborado:** *Autora, 2014*

**Anexo nº 10:** Precipitações Médias (mm) do Posto 1273 (Nhazónia)

**Fonte:** *ARA-CENTRO, 2013*